

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2014 年 11 月 27 日 (27.11.2014)



(10) 国际公布号
WO 2014/187046 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 17/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2013/083441
- (22) 国际申请日: 2013 年 9 月 13 日 (13.09.2013)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201310196243.2 2013 年 5 月 23 日 (23.05.2013) CN
- (71) 申请人: 中国科学院深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。
- (72) 发明人: 黄惠 (HUANG, Hui); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong

518055 (CN)。 伍世浩 (WU, Shihao); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 陈宝权 (CHEN, Baoquan); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 南亮亮 (NAN, Liangliang); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 广州华进联合专利商标代理有限公司 (ADVANCE CHINA IP LAW OFFICE); 中国广东省广州市天河区花城大道 85 号 3901 房, Guangdong 510623 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

[见续页]

(54) Title: POINT CLOUD SKELETON EXTRACTION METHOD AND APPARATUS

(54) 发明名称: 点云骨架提取方法及装置

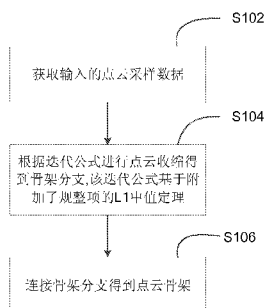


图 1 / FIG.1

$$\arg \min_x \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \|x_i - q_j\| \theta(\|x_j - q_j\|) + R(X)$$

AA 式1

$$R(X) = \sum_{i \in I} \gamma_i \sum_{j \in I, j \neq i} \frac{\theta(\|x_i - x_j\|)}{\sigma_i \|x_i - x_j\|}, \quad \theta(r) = e^{-\frac{r^2}{\sigma^2}}$$

BB 式2

- S102 Input point cloud sampling data is obtained
S104 Skeleton branches are obtained by point cloud contraction according to an iterative formula, and the iterative formula is based on the regularized item-added L1 mean value theorem
S106 The skeleton branches are connected to obtain the point cloud skeleton
AA Formula 1
BB Formula 2

(57) Abstract: A point cloud skeleton extraction method comprises: obtaining input point cloud sampling data; obtaining skeleton branches by point cloud contraction according to an iterative formula, the iterative formula is shown as Formula 1, wherein, Formula 2; wherein J is a point set of the point cloud sampling data, q is a sampling point in the point set J, I is a neighborhood point set of the sampling point q, x is a neighborhood point in the neighborhood point set I, R is a regularized item, gamma is a weight coefficient, h is a neighborhood radius of the neighborhood point set I, and sigma is a distribution coefficient; and connecting the skeleton branches to obtain the point cloud skeleton. In addition, further provided is a point cloud skeleton extraction apparatus. The point cloud skeleton extraction method and apparatus can improve the accuracy of the point cloud skeleton.

(57) 摘要: 一种点云骨架提取方法, 包括: 获取输入的点云采样数据; 根据迭代公式进行点云收缩得到骨架分支, 所述迭代公式为: 式 1; 其中, 式 2; 其中, J 为点云采样数据的点集合, q 为点集合 J 中的采样点, I 为采样点 q 的邻域点集合, x 为邻域点集合 I 中的邻域点, R 为规整项, r 为权重系数, h 为邻域点集合 I 的邻域半径, sigma 为分布系数; 连接所述骨架分支得到点云骨架。此外, 还提供了一种点云骨架提取装置。上述点云骨架提取方法及装置能够提高点云骨架的准确性。



NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

- (84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

发明名称：点云骨架提取方法及装置

技术领域

本发明涉及计算机图形处理技术领域，特别是涉及一种点云骨架提取方法及装置。

背景技术

当今的生产应用中，计算机辅助设计，逆向工程，虚拟现实，三维动画和游戏等三维技术发展的一个主要瓶颈是：至今仍没有一个便利的方法快速获得用计算机存储的三维模型。如何直接从扫描点云数据出发，直接快速得到实用的点云模型，仍是一个未完近年来，三维激光扫描仪凭借其能够方便灵活地获取现实物体的三维表面数据的优势，得到了广泛应用。然而，目前在世界范围全解决的难题。点云数据处理的难点在于，点云数据一般是散乱的，有大量缺失，噪声和外点的。经过二十多年的研究，从较为完整的点云数据中重构三维模型的技术已经较为成熟。然而，制约其成为一种通用的逆向重构技术的关键在于，点云数据往往有大面积的缺失，这是现有硬件扫描设备无法解决的问题。而现有的基于拟合的重构手段都难以快速从缺失的点云数据直接重构出令人满意的三维模型。

所谓点云模型，一般指由三维扫描设备发射扫描光到被测物体表面上，接收反射光，并以此推算出物体表面的三维坐标点的集合。所谓点云三维重建，是指在一定的点云模型数据基础上，重建出能表示源模型的网格数据，便于计算机渲染和用户交互。

为了更好地处理点云数据，从点云中提取骨架是很重要的一个预处理步骤。因为骨架中包含了物体的拓扑结构信息。所以点云骨架的提取其实相当于对原物体的形状的理解过程。一旦得到了点云的骨架后，我们可以利用骨架来反补缺失和增强点云数据，为下一步的点云重构工作奠定基础。

从另外一个角度说，骨架信息的提取一直图形学领域的一个重要的研究课

题。因为，不管是二维还是三维的形状，骨架都是对源数据的一个重要的描述特征。有了骨架信息后，可以大大帮助我们分析并操纵各种图形数据，比如基于骨架的形状匹配，骨架动画等。

从封闭的三维网格中提取骨架的技术已经较为成熟，但是从散乱点云中提取骨架却是个新兴的问题。从网格中提取骨架的技术并不能直接应用到点云骨架提取，因为点云中缺少网格的连接信息，并且现有的网格骨架提取技术并不能应对点云中的噪声，外点和缺失等问题。而目前能够从点云中提取曲线骨架的方法是 2009 年提出的方案，简称 ROSA (rotational symmetry axis)。该方案提出了一个旋转对称轴的概念，并且假设输入模型的基本形状主要由圆柱体构成。假设已知一个二维的点集并且知道每个点的法向量，可以算出一个旋转对称中心点，最能表达该点集的中心位置。基于这个二维概念，ROSA 方案首先为三维点云的每一个点找到一个最佳的切平面。然后，把切平面附近的输入点投影到该二维平面上，并算出该平面点集的旋转对称中心。把这些旋转对称中心点进行进一步收缩，并且对接合点区域作特殊处理后，得到最后的旋转对称中轴。另外，值得一提的是文献提出的基于拉普拉斯收缩的点云骨架提取技术。该技术假设输入的点云数据足够稠密和规整，从而可以建立基于点集的拉普拉斯连接关系，相当于构造了一个隐性网格。然后利用较为成熟的拉普拉斯网格骨架提取技术提取骨架。

然而，传统技术中的 ROSA 方案严重依赖点云法向量的信息，以及对物体基本形状的假设。在 ROSA 方案中，法向量信息是计算局部旋转对称中心的必要条件。而对基本形状是圆柱的假设，是它对缺失数据仍能较好提取中轴的关键。然而，法向量信息并不是直接从硬件设备中得到，而是由局部邻点的信息估算出来的值。对于有大量外点和噪声的情况，很可能估算出错误的法向量方向和朝向，因此，传统技术总的 ROSA 方案提取点云骨架的准确度不高。

发明内容

基于此，有必要提供一种能提高准确性的点云骨架提取方法。

一种点云骨架提取方法，包括：

获取输入的点云采样数据;

根据迭代公式进行点云收缩得到骨架分支, 所述迭代公式为:

$$\arg \min_X \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \|x_i - q_j\| \theta(\|x_j - q_j\|) + R(X);$$

$$\text{其中, } R(X) = \sum_{i \in I} \gamma_i \sum_{i' \in I \setminus \{i\}} \frac{\theta(\|x_i - x_{i'}\|)}{\sigma_i \|x_i - x_{i'}\|}, \quad \theta(r) = e^{-\frac{4r^2}{h^2}};$$

其中, J 为点云采样数据的点集合, q 为点集合 J 中的采样点, I 为采样点 q 的邻域点集合, x 为邻域点集合 I 中的领域点, R 为规整项, γ 为权重系数, h 为领域点集合 I 的邻域半径, σ 为分布系数;

连接所述骨架分支得到点云骨架。

在其中一个实施例中, 所述方法还包括:

根据 PCA 算法为采样点建立协方差矩阵;

根据下述公式得到分布系数:

$$\sigma_i = \sigma(x_i) = \frac{\lambda_{2_i}}{\lambda_{0_i} + \lambda_{1_i} + \lambda_{2_i}}$$

其中, λ_0 、 λ_1 和 λ_2 为所述协方差矩阵的三个特征值, 且 $\lambda_0 \leq \lambda_1 \leq \lambda_2$ 。

在其中一个实施例中, 所述根据迭代公式进行点云收缩的步骤为:

逐步扩大邻域半径, 根据扩大的邻域半径以及所述迭代公式进行点云收缩。

在其中一个实施例中, 所述逐步扩大邻域半径的步骤为:

设置初始邻域半径 $h_0 = 2d_{bb} / \sqrt[3]{|J|}$, 以 $h_i = h_{i-1} + h_0 / 2$ 的方式逐步扩大邻域半径, 其中, d_{bb} 为点云包围盒对角线长度, $|J|$ 为点云采样数据的点集合中采样点的个数。

在其中一个实施例中, 所述连接所述骨架分支得到点云骨架的步骤之后还包括:

对所述点云骨架进行平滑化和中心化处理。

此外, 还有必要提供一种能提高准确性的点云骨架提取装置。

一种点云骨架提取装置, 包括:

采样数据获取模块, 用于获取输入的点云采样数据;

骨架分支生成模块，用于根据迭代公式进行点云收缩得到骨架分支，所述迭代公式为：

$$\arg \min_X \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \|x_i - q_j\| \theta(\|x_j - q_j\|) + R(X);$$

$$\text{其中, } R(X) = \sum_{i \in I} \gamma_i \sum_{i' \in I \setminus \{i\}} \frac{\theta(\|x_i - x_{i'}\|)}{\sigma_i \|x_i - x_{i'}\|}, \quad \theta(r) = e^{-\frac{4r^2}{h^2}};$$

其中， J 为点云采样数据的点集合， q 为点集合 J 中的采样点， I 为采样点 q 的邻域点集合， x 为邻域点集合 I 中的领域点， R 为规整项， γ 为权重系数， h 为领域点集合 I 的邻域半径， σ 为分布系数；

点云骨架生成模块，用于连接所述骨架分支得到点云骨架。

在其中一个实施例中，所述骨架分支生成模块还用于根据PCA算法为采样点建立协方差矩阵；

根据下述公式得到分布系数：

$$\sigma_i = \sigma(x_i) = \frac{\lambda_2}{\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2}$$

其中， λ_0 、 λ_1 和 λ_2 为所述协方差矩阵的三个特征值，且 $\lambda_0 \leq \lambda_1 \leq \lambda_2$ 。

在其中一个实施例中，所述骨架分支生成模块还用于逐步扩大邻域半径，根据扩大的邻域半径以及所述迭代公式进行点云收缩。

在其中一个实施例中，所述骨架分支生成模块还用于设置初始邻域半径 $h_0 = 2d_{bb} / \sqrt[3]{|J|}$ ，以 $h_i = h_{i-1} + h_0 / 2$ 的方式逐步扩大邻域半径，其中， d_{bb} 为点云包围盒对角线长度， $|J|$ 为点云采样数据的点集合中采样点的个数。

在其中一个实施例中，所述装置还包括点云骨架调整模块，用于对所述点云骨架进行平滑化和中心化处理。

上述点云骨架提取方法及装置，在传统的基于L1中值定理收缩点云骨架的基础上，增加了规整项，使得在采样点分布不均匀的情况下，能够依靠规整项的调节作用使得计算得到的中值点为接近真实环境的中值点，从而提高了准确性。

附图说明

图 1 为一个实施例中点云骨架提取方法的流程图；

图 2 为一个实施例中点云骨架提取装置的结构示意图；

图 3 为另一个实施例中点云骨架提取装置的结构示意图。

具体实施方式

在一个实施例中，如图 1 所示，一种点云骨架提取方法，该方法完全依赖于计算机程序，该计算机程序可运行于基于冯洛伊曼体系的计算机系统之上，该方法包括以下步骤：

步骤 S102，获取输入的点云采样数据。

对点云数据采集设备采集到的散乱点集进行采样得到点云采样数据（散乱点集的采样点），通过对采样点的收缩从而生成点云骨架，可大大减少计算量。

在本实施例中，采样点数一般取输入的散乱点集中数据点总数的 5%，采样位置随机，即随机抽取散乱点集中数据点的 5% 作为采样点。为了方便描述，下文统一称输入的散乱点集为 Q ，而下采样的点集为 X 。所谓点集的邻域有两个方面。一方面是指点集 X 自身的邻域 I ，即对于点集 X 中每个点 $C_i = \sum_{i' \in I \setminus \{i\}} \theta(\|x_i - x_{i'}\|)(x_i - x_{i'})^T(x_i - x_{i'})$ ， x_i 的邻域 I 为距离 x_i 的长度小于 h 值（邻域半径）的邻点的集合。另一方面是指点集 X 在点集 Q 中的邻域 J ，即对于集合中每个点 x_i ，距离 x_i 的长度小于 h 值的邻点的集合。点集 X 的邻域的大小，由 h 值控制。

步骤 S104，根据迭代公式进行点云收缩得到骨架分支，迭代公式为：

$$\arg \min_X \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \|x_i - q_j\| \theta(\|x_j - q_j\|) + R(X);$$

$$\text{其中， } R(X) = \sum_{i \in I} \gamma_i \sum_{i' \in I \setminus \{i\}} \frac{\theta(\|x_i - x_{i'}\|)}{\sigma_i \|x_i - x_{i'}\|}, \quad \theta(r) = e^{-\frac{4r^2}{h^2}};$$

其中， J 为点云采样数据的点集合， q 为点集合 J 中的采样点， I 为采样点 q 的邻域点集合， x 为邻域点集合 I 中的邻域点， R 为规整项， γ 为权重系数， h 为邻域点集合 I 的邻域半径， σ 为分布系数。

传统技术中的 L1 中值定理为:

$$\arg \min_x \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \|x_i - q_i\| \theta(\|x_j - q_j\|), \quad \theta(r) = e^{-\frac{4r^2}{h^2}}$$

其计算得到的中值点 x 是到该点集中所有点的距离之和最小的点。而传统技术中的基于 L1 中值定理计算收缩点云的方法中, 采样点可能分布不均匀, 使得很多采样点都重叠汇集到附近的中值点, 形成稀疏的分布, 因此使得收缩得到的点云骨架不准确。例如, 若采样点的分布接近一条直线, 则收缩得到的骨架的则位置偏离较大

而在本实施例中, 加入了规整项 R , 规整项 R 中包含有分布系数 σ , 使得对于分布不均匀的采样点可在规整项的调解下仍可得到准确的骨架位置。

在本实施例中, 可根据 PCA 算法计算分布系数 σ 。

根据 PCA 算法为采样点建立协方差矩阵;

根据下述公式得到分布系数:

$$\sigma_i = \sigma(x_i) = \frac{\lambda_2}{\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2}$$

其中, λ_0 、 λ_1 和 λ_2 为协方差矩阵的三个特征值, 且 $\lambda_0 \leq \lambda_1 \leq \lambda_2$ 。

PCA 算法的目的是“降噪”和“去冗余”, 协方差矩阵的主对角线上的元素是各个维度上的方差(即能量), 其他元素是两两维度间的协方差(即相关性)。为了达到“降噪”目的, 希望不同维度间的相关性尽可能小, 即让协方差矩阵中非对角线元素都基本为零。这可利用线性代数中的矩阵对角化来实现。对角化后得到的矩阵, 其对角线上是协方差矩阵的特征值。这特征值是各维度上的新方差, 同时也代表各个维度本身应该拥有的能量。

可根据 PCA 算法对建立采样点的协方差矩阵:

$$C_i = \sum_{i' \in I \setminus \{i\}} \theta(\|x_i - x_{i'}\|) (x_i - x_{i'})^T (x_i - x_{i'})$$

其中, $x_{i'}$ 为 x_i 的均值。

由上述公式可看出, 协方差矩阵 C_i 必然具有三个特征值, 则可先将该三个特征值按照从小到大的顺序排列, 依次为 λ_0 、 λ_1 和 λ_2 。

在本实施例中, 根据迭代公式进行点云收缩的步骤还可包括逐步扩大邻域

半径，根据扩大的邻域半径以及迭代公式进行点云收缩。

进一步的，逐步扩大邻域半径的步骤可具体为：

设置初始邻域半径 $h_0 = 2d_{bb} / \sqrt[3]{|J|}$ ，以 $h_i = h_{i-1} + h_0 / 2$ 的方式逐步扩大邻域半径，其中， d_{bb} 为点云包围盒对角线长度， $|J|$ 为点云采样数据的点集合中采样点的个数。

由于点云本身没有点与点之间的连接关系，所以邻域范围是绝大部分点云处理算法的一个重要的全局的固定的参数。但是，在本问题中，用一个固定的邻域范围是不可行的。对于稍微复杂的模型，有些地方的采样点需要考虑较小的邻域范围，否则会受不同形状部位的点的影响；有些则要考虑较大的邻域范围，这样才能把采样点收缩到正确的局部形状内部。因此，在本实施例中，可先用较小的邻域大小，即 $h_0 = 2d_{bb} / \sqrt[3]{|J|}$ 作为初始邻域大小进行收缩。收缩到一定程度后，让明显可以构成骨架分支的局部采样点集连成骨架，并且把这些采样点固定下来不再参与往后的收缩。接着，按一定的增长速率逐步增加邻域大小（默认为 1.5，其中 1.5 为增长速率），用新的邻域大小进行进一步的收缩和骨架提取。本实施例中，就是通过不断增加邻域大小，直到所有采样点都固定，形成最终骨架为止。

步骤 S106，连接骨架分支得到点云骨架。

在本实施例中，连接骨架分支得到点云骨架的步骤可包括构建，延展和连接三个子过程。

在一定的邻域范围下，采样点集 X 经过多次迭代收缩后，有些局部点集逐渐形成明显的曲线骨架分布，把这些点集简单地逐个连起来即可形成一条新的骨架分支。在前述的迭代收缩的过程中，现有的骨架分支可以根据头尾的采样点分布进行延展或和其他骨架分支合并。

新骨架分支的构建。经过一定的收缩后，可先通过粗筛选，选出未被固定的采样点中有可能形成新骨架分支的候选点集，然后用约束规则确定是否能够形成新分支。粗筛选的方法是再次利用 PCA 算法求出每个采样点的 σ 值，然后取 x_i 点的 KNN (k-Nearest Neighbor algorithm, 最邻近结点算法) 点进行平滑，即 $K=5$ 。最后把平滑后的 σ 值大于 0.9 的，未被固定的采样点作为骨架分支构建候选点。于是，从 σ 值最大的候选点开始搜索，搜索方向是沿着 PCA 主方向

(特征值最大的特征向量)的前后两端进行搜索,搜索范围是当前的邻域大小,如果发现在搜索范围内有候选点满足夹角规则(即两个相邻分段的夹角小于 25°)那么把该候选点纳入当前候选分支。当候选分支的头尾两端都没有合适的候选点,搜索停止。如果搜索结果的候选分支包含的采样点数大于5,我们认为该分支可信,并把对应的采样点标记为固定点。否则把对应的采样点从候选点中排除。经过一轮搜索后,如果没有候选点剩余,则终止新骨架分支的构建,否则,继续从 σ 值最大的候选点进行搜索。

由于采用逐步递增的邻域大小,在不同邻域形成的骨架分支,很可能会丢失连接关系,因此,可引入辅助的桥接点。每当一个新的骨架分支形成,分支的头尾点就会连接一个桥接点。该点作为骨架分支的临时部分,但实际指向最近的未固定的采样点并参与进一步的收缩。桥接点一直跟踪最近的采样点直到出现以下情况会失效:1)跟踪的距离超出给定的阈值;2)跟踪的夹角(桥接点和对应分支的实际头尾点的连线,与该分支主方向形成的夹角)大于 90° ;3)局部遇到其他桥接点,并满足条件合并或连接分支。

基于桥接点的骨架分支延展过程。在更大的邻域大小的收缩下,已有骨架的头尾的采样点可能会重新满足夹角规则的约束。因此,在桥接点的帮助下,对应的采样点回纳入现有的骨架分支,并继续往前搜索直到最近的采样点不满足夹角规则为止,最后更新桥接点的位置。

基于桥接点的骨架分支连接过程。在一定的局部区域内,可能两个或多个桥接点相遇。只在增加邻域大小前,对这种情况进行处理。如果区域内有且只有两个桥接点,并且对应的两条分支的方向的夹角大于 145° ,则把这两条分支合并成一条,桥接点失效;否则不做任何处理。如果区域内有大于两个桥接点,求出这些桥接点的平均点并把对应分支的头尾移动到该平均点,桥接点失效。

进一步的,还可去除干扰采样点。在逐步扩大邻域半径并进行不同阶段的收缩的同时,可能会有少数采样点没有形成骨架分支却游离在已有骨架周围或头尾。因此,为提高算法鲁棒性和效率,对于这些靠近已有分支的采样点,做删除处理。

在本实施例中,连接骨架分支得到点云骨架的步骤之后还可对点云骨架进

行平滑化和中心化处理。

平滑化的过程如下：

第一步，对于每条骨架分支的除头尾外的每个结点 v_1 ，可以算出它和前后节点 v_0 与 v_2 之间对应的夹角，如果该夹角大于 50° ，对该节点进行一维拉普拉斯平滑，即 $v_1 = v_0/4 + v_1/2 + v_2/4$ 。

第二步，对每条分支进行四点插值细分，直到该分支最长的分段小于一个阈值。细分的方法如下，假设 v_0 、 v_1 、 v_2 、 v_3 是分支上连续四个点，插入新点的规则如下。

1. v_1, v_2 的新插入点 $v = (-v_0 + 9v_1 + 9v_2 - v_3)/16$ 。
2. 如果 v_1 是端点，即 v_1 之前没有点： $v = (3v_1 + 6v_2 - v_3)/8$ 。
3. 如果 v_2 是端点，即 v_2 之后没有点： $v = (-v_0 + 6v_1 + 3v_2)/8$ 。

第三步，对细分后的分支进行下采样，即从取出第一个点开始，逐步取出下一个点作为采样结点，该结点刚好满足和前一个取出点的距离大于一个阈值。最终得到一个平滑的，并且分段长度基本相同的一维曲线骨架。

中心化的过程如下：

对于骨架的每一条分支的除头尾外的结点，都可以简单得到一个切平面。该平面经过结点并且垂直于该结点和下一个结点连线方向的向量。把结点对应的邻近源点集 Q 上的点投影到该切平面上，然后用几何椭圆拟合的方法去用一个椭圆逼近该二维点集。如果得到的椭圆的拟合误差小于默认阈值，即把该结点移动到对应椭圆的中心。如果一条分支上有多个结点被重新中心化，对该分支再次做平滑化。需要说明的是，这里的切平面邻域的半径，是由该结点的在收缩过程中第一次固定下来时候对应的邻域半径所决定。

在一个实施例中，如图 2 所示，一种危险信息通知装置，包括采样数据获取模块 102、骨架分支生成模块 104 以及点云骨架生成模块 106，其中：

采样数据获取模块 102，用于获取输入的点云采样数据；

骨架分支生成模块 104，用于根据迭代公式进行点云收缩得到骨架分支，所述迭代公式为：

$$\arg \min_X \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \|x_i - q_j\| \theta(\|x_j - q_j\|) + R(X);$$

$$\text{其中, } R(X) = \sum_{i \in I} \gamma_i \sum_{i' \in I \setminus \{i\}} \frac{\theta(\|x_i - x_{i'}\|)}{\sigma_i \|x_i - x_{i'}\|}, \quad \theta(r) = e^{-\frac{4r^2}{h^2}};$$

其中, J 为点云采样数据的点集合, q 为点集合 J 中的采样点, I 为采样点 q 的邻域点集合, x 为邻域点集合 I 中的领域点, R 为规整项, γ 为权重系数, h 为领域点集合 I 的邻域半径, σ 为分布系数;

点云骨架生成模块 106, 用于连接所述骨架分支得到点云骨架。

在一个实施例中, 骨架分支生成模块 104 还用于根据 PCA 算法为采样点建立协方差矩阵;

根据下述公式得到分布系数:

$$\sigma_i = \sigma(x_i) = \frac{\lambda 2_i}{\lambda 0_i + \lambda 1_i + \lambda 2_i}$$

其中, $\lambda 0$ 、 $\lambda 1$ 和 $\lambda 2$ 为所述协方差矩阵的三个特征值, 且 $\lambda 0 \leq \lambda 1 \leq \lambda 2$ 。

在一个实施例中, 骨架分支生成模块 104 还用于逐步扩大邻域半径, 根据扩大的邻域半径以及所述迭代公式进行点云收缩。

在一个实施例中, 骨架分支生成模块 104 还用于设置初始邻域半径 $h_0 = 2d_{bb} / \sqrt[3]{|J|}$, 以 $h_i = h_{i-1} + h_0 / 2$ 的方式逐步扩大邻域半径, 其中, d_{bb} 为点云包围盒对角线长度, $|J|$ 为点云采样数据的点集合中采样点的个数。

在一个实施例中, 如图 3 所示, 点云骨架提取装置还包括点云骨架调整模块 108, 用于对点云骨架进行平滑化和中心化处理。

上述点云骨架提取方法及装置, 在传统的基于 L1 中值定理收缩点云骨架的基础上, 增加了规整项, 使得在采样点分布不均匀的情况下, 能够依靠规整项的调节作用使得计算得到的中值点为接近真实环境的中值点, 从而提高了准确性。

本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程, 是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成, 所述的程序可存储于一计算机可读取存储介质中, 该程序在执行时, 可包括如上述各方法的实施例的流程。

其中，所述的存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体（Read-Only Memory, ROM）或随机存储记忆体（Random Access Memory, RAM）等。

以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。因此，本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

权利要求书

1、一种点云骨架提取方法，包括：

获取输入的点云采样数据；

根据迭代公式进行点云收缩得到骨架分支，所述迭代公式为：

$$\arg \min_X \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \|x_i - q_j\| \theta(\|x_i - q_j\|) + R(X);$$

$$\text{其中, } R(X) = \sum_{i \in I} \gamma_i \sum_{i' \in I \setminus \{i\}} \frac{\theta(\|x_i - x_{i'}\|)}{\sigma_i \|x_i - x_{i'}\|}, \quad \theta(r) = e^{-\frac{4r^2}{h^2}};$$

其中， J 为点云采样数据的点集合， q 为点集合 J 中的采样点， I 为采样点 q 的邻域点集合， x 为邻域点集合 I 中的领域点， R 为规整项， γ 为权重系数， h 为领域点集合 I 的邻域半径， σ 为分布系数；

连接所述骨架分支得到点云骨架。

2、根据权利要求1所述的点云骨架提取方法，其特征在于，所述方法还包括：

根据PCA算法为采样点建立协方差矩阵；

根据下述公式得到分布系数：

$$\sigma_i = \sigma(x_i) = \frac{\lambda 2_i}{\lambda 0_i + \lambda 1_i + \lambda 2_i}$$

其中， $\lambda 0$ 、 $\lambda 1$ 和 $\lambda 2$ 为所述协方差矩阵的三个特征值，且 $\lambda 0 \leq \lambda 1 \leq \lambda 2$ 。

3、根据权利要求1所述的点云骨架提取方法，其特征在于，所述根据迭代公式进行点云收缩的步骤为：

逐步扩大邻域半径，根据扩大的邻域半径以及所述迭代公式进行点云收缩。

4、根据权利要求3所述的点云骨架提取方法，其特征在于，所述逐步扩大邻域半径的步骤为：

设置初始邻域半径 $h_0 = 2d_{bb} / \sqrt[3]{|J|}$ ，以 $h_i = h_{i-1} + h_0 / 2$ 的方式逐步扩大邻域半径，其中， d_{bb} 为点云包围盒对角线长度， $|J|$ 为点云采样数据的点集合中采样点的个数。

5、根据权利要求1所述的点云骨架提取方法，其特征在于，所述连接所述

骨架分支得到点云骨架的步骤之后还包括:

对所述点云骨架进行平滑化和中心化处理。

6、一种点云骨架提取装置,其特征不在于,包括:

采样数据获取模块,用于获取输入的点云采样数据;

骨架分支生成模块,用于根据迭代公式进行点云收缩得到骨架分支,所述迭代公式为:

$$\arg \min_X \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \|x_i - q_j\| \theta(\|x_j - q_j\|) + R(X);$$

$$\text{其中, } R(X) = \sum_{i \in I} \gamma_i \sum_{i' \in I \setminus \{i\}} \frac{\theta(\|x_i - x_{i'}\|)}{\sigma_i \|x_i - x_{i'}\|}, \quad \theta(r) = e^{-\frac{4r^2}{h^2}};$$

其中, J 为点云采样数据的点集合, q 为点集合 J 中的采样点, I 为采样点 q 的邻域点集合, x 为邻域点集合 I 中的领域点, R 为规整项, γ 为权重系数, h 为领域点集合 I 的邻域半径, σ 为分布系数;

点云骨架生成模块,用于连接所述骨架分支得到点云骨架。

7、根据权利要求 6 所述的点云骨架提取装置,其特征不在于,所述骨架分支生成模块还用于根据 PCA 算法为采样点建立协方差矩阵;

根据下述公式得到分布系数:

$$\sigma_i = \sigma(x_i) = \frac{\lambda_2}{\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2}$$

其中, λ_0 、 λ_1 和 λ_2 为所述协方差矩阵的三个特征值,且 $\lambda_0 \leq \lambda_1 \leq \lambda_2$ 。

8、根据权利要求 6 所述的点云骨架提取装置,其特征不在于,所述骨架分支生成模块还用于逐步扩大邻域半径,根据扩大的邻域半径以及所述迭代公式进行点云收缩。

9、根据权利要求 8 所述的点云骨架提取装置,其特征不在于,所述骨架分支生成模块还用于设置初始邻域半径 $h_0 = 2d_{bb} / \sqrt[3]{|J|}$, 以 $h_i = h_{i-1} + h_0 / 2$ 的方式逐步扩大邻域半径,其中, d_{bb} 为点云包围盒对角线长度, $|J|$ 为点云采样数据的点集合中采样点的个数。

10、根据权利要求 6 所述的点云骨架提取装置,其特征不在于,所述装置还包括点云骨架调整模块,用于对所述点云骨架进行平滑化和中心化处理。

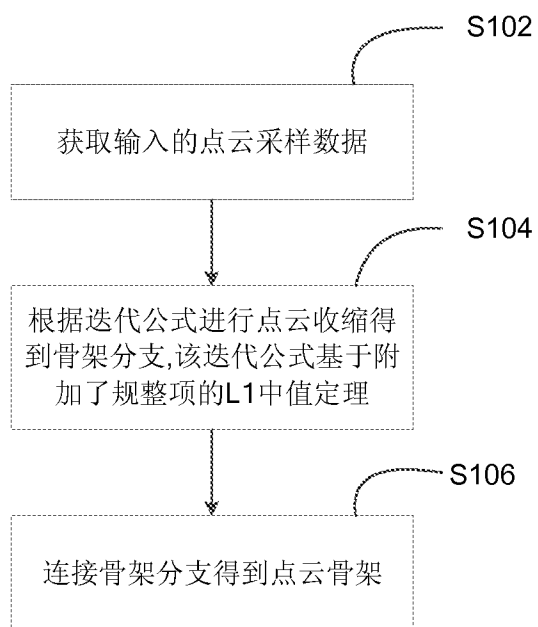


图 1

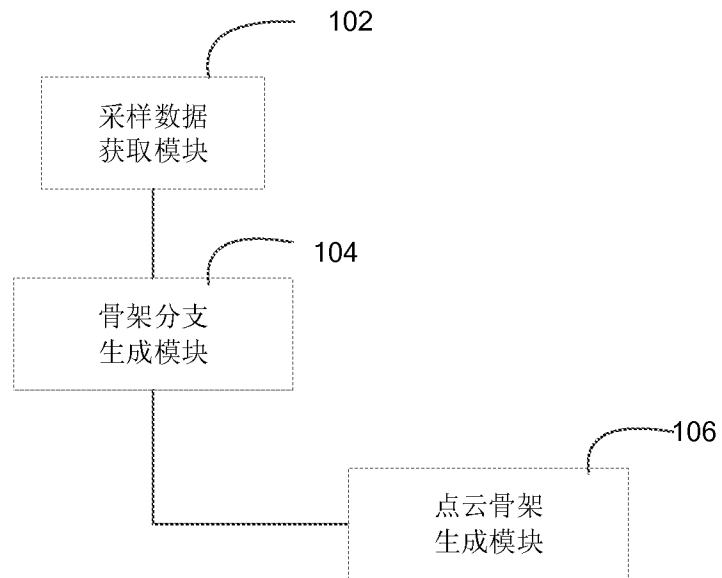


图 2

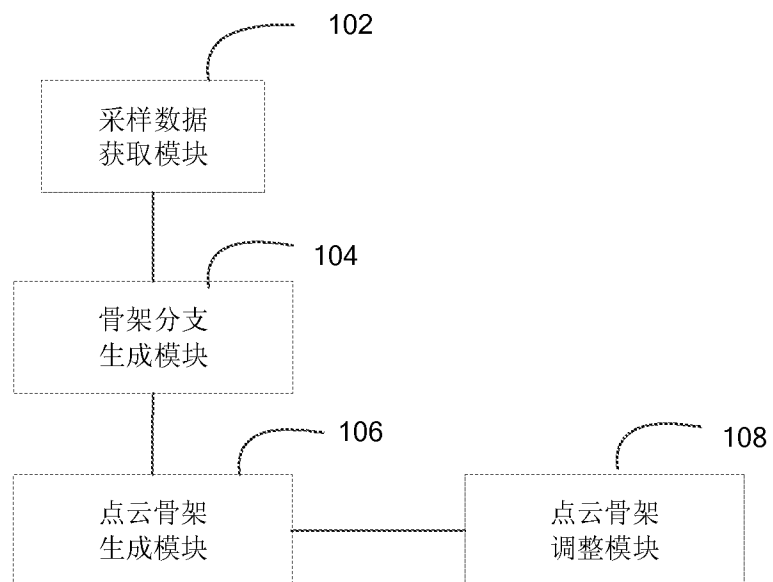


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2013/083441

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 17/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNKI, CNPAT: median value, point, cloud, skeleton, medial, regularization, Hui Huang

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 103268631 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 28 August 2013 (28.08.2013), claims 1-10	1-10
PX	HUANG, Hui et al., L ₁ -Medial Skeleton of Point Cloud, ACM Transactions on Graphics (TOG)-SIGGRAPH 2013 CONFERENCE PROCEEDINGS, July 2013, vol. 32, no. 4, pages 65:1-65:8	1-10
A	CN 101887596 A (INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 17 November 2010 (17.11.2010), description, paragraphs [0010]-[0015]	1-10
A	CN 101866495 A (INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 20 October 2010 (20.10.2010), the whole document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 07 February 2014 (07.02.2014)	Date of mailing of the international search report 27 February 2014 (27.02.2014)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer WU, Shaohong Telephone No.: (86-10) 82245502

International application No.
PCT/CN2013/083441

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2013/083441

A. 主题的分类

G06T17/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: G06T

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

WPI, EPODOC, CNKI, CNPAT: 点, 云, 骨架, 中值, 规整, 黄惠, point, cloud, skeleton, medial, regularization, Hui Huang

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN103268631A (中国科学院深圳先进技术研究院) 28.8 月 2013 (28.08.2013) 权利要求 1-10	1-10
PX	HUANG, Hui 等, L ₁ -Medial Skeleton of Point Cloud, ACM Transactions on Graphics (TOG) – SIGGRAPH 2013 Conference Proceedings, 7 月 2013, 第 32 卷, 第 4 期, 第 65:1-65:8 页	1-10
A	CN101887596A (中国科学院自动化研究所) 17.11 月 2010 (17.11.2010) 说明书第[0010]-[0015]段	1-10
A	CN101866495A (中国科学院自动化研究所) 20.10 月 2010 (20.10.2010) 全文	1-10



其余文件在 C 栏的续页中列出。



见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

07.2 月 2014 (07.02.2014)

国际检索报告邮寄日期

27.2 月 2014 (27.02.2014)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:

中华人民共和国国家知识产权局

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088

传真号: (86-10)62019451

授权官员

吴少鸿

电话号码: (86-10) 82245502

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2013/083441

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN103268631A	28.08.2013	无	
CN101887596A	17.11.2010	无	
CN101866495A	20.10.2010	无	