

对LOP算子的优化使用以提取三维模型骨架

李雷, 王文成

Improved Use of LOP for Curve Skeleton Extraction, *Computer Graphics Forum* (Oral Presentation at PG 2018).

llei@ios.ac.cn; whn@ios.ac.cn

研究背景

- 骨架作为三维模型的简要表达, 在计算机图形学、计算机视觉、模式识别等领域具有十分广泛的应用。
- 骨架由模型各部件中心的一维曲线组成, 其含义决定了中心性是骨架最重要的本质属性。在保证骨架曲线的中心性方面, 文献[1]提出的等距收缩方法是目前综合性能最好的骨架提取方法。然而, 等距收缩方法生成的骨架可能出现断裂不连通的情况。
- 对此, 本文通过对LOP算子的优化使用, 提出新的收缩方法, 在保证骨架曲线中心性的前提下, 解决等距收缩方法的骨架连通性问题。

方法概述

- 研究发现, 等距收缩方法造成骨架不连通的根源在于其收缩处理的局部性。其通过局部的球拟合操作实现各几何点的收缩, 同时为各点分配相同的拟合球半径以实现等距的收缩, 因此需要固定那些提前收缩至细长曲线的点以等待其他点继续完成收缩, 从而可能造成断裂不连通情况。
- 由此, 本文将收缩的实现方式由局部的球拟合改为基于LOP算子的全局能量优化。用专门的能量正则项来限制相邻点之间的距离在收缩过程中保持稳定, 并设计自适应的速度函数为细小部分分配更小的收缩速度而为宽大部分分配更大的收缩速度, 从而让各几何点同步地收缩至骨架曲线, 无需提前固定一部分点的位置。同时, 设计的速度函数可为模型中心线两边对称位置的点分配相同的收缩速度, 使收缩关于中心线对称, 从而保证了所得骨架曲线的中心性。
- 概言之, 本文通过对LOP算子的优化使用, 提出同步且对称的收缩方法, 可以有效生成中心性良好且连通的高质量骨架, 全面解决了三维模型骨架提取的中心性问题。

方法介绍

- ◆ **全局能量优化** 考虑到点云处理邻域的LOP (locally optimal projection) 算子具有对一个点集的收缩作用[2], 设计一个基于LOP算子的全局能量优化框架, 以实现模型中轴面各点的收缩。具体能量函数如下:

$$E = E_1(X, Q) + E_2(X),$$

$$E_1(X, Q) = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \|x_i - q_j\| \theta(\|x_i - q_j\|),$$

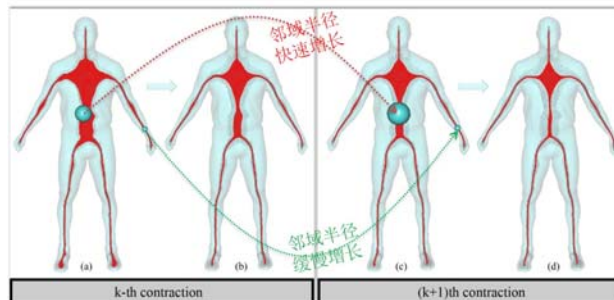
$$E_2(X) = \sum_{i \in N} \lambda_i \sum_{j \in N \setminus \{i\}} \eta(\|x_i - x_j\|) \theta(\|x_i - x_j\|).$$

其中, $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ 是输入的中轴面点集, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 是优化后的点集, 以及 $N = \{1, 2, \dots, n\}$; $\theta(r) = e^{-r^2/(h_i/4)^2}$ 是快速衰减的权重函数, $h_i = h(i)$ 代表邻域半径。

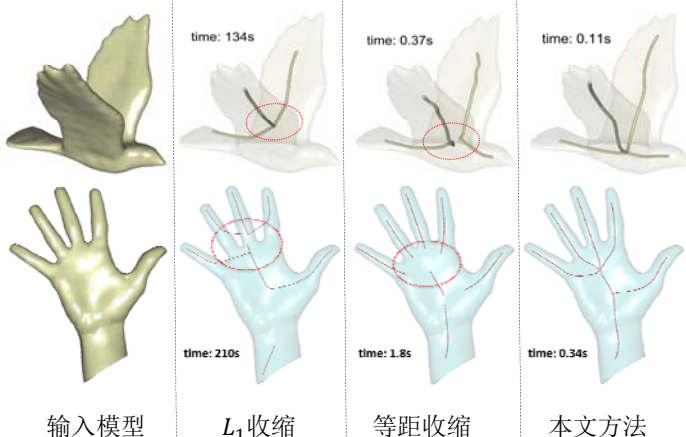
- ◆ **自适应的收缩速度** 各点的邻域半径大小可形成一个邻域半径函数 $h(i)$, 通过控制各点邻域半径 $h(i)$ 的增长速度可控制各点的收缩速度。每次迭代中, 让 $h(i)$ 按照如下步长增长:

$$\Delta h(i) = \exp\left(1 + \frac{\lambda_0^i + \lambda_1^i}{\lambda_2^i}\right) - \exp(1).$$

其中 λ_0^i, λ_1^i 和 λ_2^i ($\lambda_0^i < \lambda_1^i < \lambda_2^i$) 是各点处的协方差矩阵的三个特征值, 通过对各点的附近区域作PCA分析得到。显然, 在细长的线状区域, $\Delta h(i)$ 很小, 邻域半径 $h(i)$ 增长非常缓慢, 即相应的收缩速度很慢; 反之, 在宽大的区域, 邻域半径 $h(i)$ 快速增长, 即收缩速度很快。如下图所示:



实验结果



◆ 结论

- L_1 收缩方法[3]和等距收缩方法[1]均无法保证所得骨架的连通性, 而本文方法可生成连通且中心性很好的高质量骨架。
- 本文方法有效提升了骨架提取的计算效率。

◆ 参考文献

- [1] Li L, Wang W. Contracting Medial Surfaces Isotropically for Fast Extraction of Centred Curve Skeletons. *Computer Graphics Forum*, 2017
- [2] Lipman Y, Cohenor D, Levin D, et al. Parameterization-free projection for geometry reconstruction[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2007, 26(3):22.
- [3] Huang H, Wu S, Cohen-Or D, et al. L_1 -Medial Skeleton of Point Cloud[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2013, 32(4).