

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СКЕЛЕТИЗАЦИИ МЕШЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ АНИМАЦИИ

Горляков Д. П. (ИТМО)

Научный руководитель — кандидат технических наук, доцент Кугаевских А. В.
(ИТМО)

Введение. Автоматическая скелетизация 3D-мешей является трудоемкой ручной задачей для масштабирования производства анимационного и игрового контента [1—4]. Для решения этих задач появились нейросетевые методы автоматического риггинга, которые учатся на больших наборах данных [2—5]. Тем не менее, автоматизация скелетизации сложных составных моделей остаётся нерешённой задачей [3—5]. В данной работе предлагается анализ и модификация существующих моделей, направленный на улучшение качества автоматической скелетизации.

Основная часть. В данном исследовании внимание сосредоточено исключительно на задаче скелетизации 3D-модели. Несмотря на то, что полный процесс подготовки персонажа к анимации включает этапы риггинга и скиннинга, в работе рассматривается только генерация скелета.

В работе методы скелетизации классифицированы на геометрические, локальные графовые и глобальные графовые. К геометрическим относится Medial Axis Transform [6; 7], формирующий осевую структуру объекта на основе анализа его геометрии и отражающий центральное направление формы. К локальным графовым методам отнесены GraphSAGE [8] и GAT [9], использующие механизмы агрегации соседних вершин и различающиеся способом учета их вклада. К глобальным методам относятся графовые трансформеры [4; 10], моделирующие дальние зависимости между узлами графа. Подобная архитектура используется в RigAnything [5], однако в работе исследована возможность переноса трансформерного механизма в архитектуру RigNet [2] для повышения согласованности генерации скелета.

Сравнительная оценка методов проводилась по метрикам качества геометрического и структурного соответствия, а также вычислительной эффективности. Для оценки точности положения суставов и костей использовалась метрика Chamfer Distance [2; 11], joint-to-joint (j2j) — расстояние между предсказанными и эталонными суставами; joint-to-bone (j2b) — расстояние от предсказанных суставов до соответствующих сегментов эталонного скелета; bone-to-bone (b2b) — расстояние между соответствующими костными сегментами. Структурная согласованность скелета оценивалась с использованием IoU [5] для оценки степени перекрытия и Tree Edit Distance [2], отражающей топологическое различие между предсказанным и эталонным скелетным деревом. Дополнительно анализировались вычислительные характеристики методов [4; 5]: среднее время работы (runtime), асимптотическая вычислительная сложность относительно числа вершин меша, а также масштабируемость при увеличении плотности сетки [2].

Выводы. Предложен комбинированный механизм автоматической скелетизации, объединяющий геометрический метод и графовое моделирование для генерации скелета. Итог — механизм для более точной и согласованной генерации скелета сложных составных моделей.

Список использованных источников

1. NeuroSkinning: Automatic Skin Binding for Production Characters with Deep Graph Networks / L. Liu [и др.] // ACM Transactions on Graphics (TOG). — 2019. — Т. 38, № 4. — 114:1—114:12.
2. RigNet: Neural Rigging for Articulated Characters / Z. Xu [и др.] // ACM Transactions on Graphics (TOG). — 2020. — Т. 39, № 4. — 58:1—58:14. — arXiv: 2005.00559.
3. HumanRig: Learning Automatic Rigging for Humanoid Character in a Large Scale Dataset / Z. Chu [и др.] // arXiv preprint. — 2024. — arXiv: 2412.02317.
4. One Model to Rig Them All: Diverse Skeleton Rigging with UniRig / J. P. Zhang [и др.] // SIGGRAPH 2025. — 2025. — arXiv: 2504.12451.
5. RigAnything: Template-Free Autoregressive Rigging for Diverse 3D Assets / I. Liu [и др.] // ACM Transactions on Graphics (TOG). — 2025. — Т. 44, № 4. — arXiv: 2502.09615.
6. L1-medial Skeleton of Point Cloud / H. Huang [и др.] // ACM Transactions on Graphics (TOG). — 2013. — Т. 32, № 4. — 65:1—65:8.
7. Coverage Axis++: Efficient Inner Point Selection for 3D Shape Skeletonization / Z. Wang [и др.] // Eurographics Symposium on Geometry Processing (SGP). — 2024. — arXiv: 2401.12946.
8. *Hamilton W. L., Ying R., Leskovec J.* Inductive Representation Learning on Large Graphs // arXiv preprint. — 2017. — arXiv: 1706.02216.
9. Graph Attention Networks / P. Veličković [и др.] // arXiv preprint. — 2017. — arXiv: 1710.10903.
10. Attention Is All You Need / A. Vaswani [и др.] // arXiv preprint. — 2017. — arXiv: 1706.03762.
11. *Hong J., et al.* ASMR: Adaptive Skeleton-Mesh Rigging and Skinning via 2D Generative Prior // Computer Graphics Forum. — 2025. — arXiv: 2503.13579.