

Разработка высокопроизводительного метода исследования морфологии биологических объектов с реализацией на GPU*

Н.И. Гаврилов, В.Е. Турлапов

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Surface-to-Volume Ratio, SVR является одной из важнейших характеристик всех биологических объектов. Эта величина характеризует интенсивность обмена биообъекта в целом с внешней средой и имеет характерную зависимость от радиуса (R) объекта как $1/R$. Для локального исследования сложных полигональных реконструкций клеток мозга в величинах SVR предложен метод расчета объема, высекаемого сферой в полигональной модели, при той же точности вчетверо лучший по производительности традиционного метода Монте-Карло для CPU и в 60 раз – для GPU.

Вычисляется скалярное поле $SVR(X)$ в 3D пространстве как S/V (рис.1а). Площадь S складывается из площадей треугольников, находящихся целиком внутри Ω , и из отсекаемых частей пограничных треугольников. Объем V – это объем, ограниченный сферой Ω и поверхностью S . Площадь части треугольника, находящейся внутри Ω частично (рис.1б), вычисляется методом Монте-Карло. В качестве примера использована модель клетки мозга из 115753 треугольников.

Для вычисления объема тела предложено использовать интегрирование не по объёму, как в методе Монте-Карло, а по поверхности. При этом треугольники поверхности равномерно засеваются множеством точек (рис.1б), окрестности которых рассматриваются как верхнее основание усеченного конуса V_i (рис.1в), тогда как центр нижнего основания лежит на поверхности сферы Ω . Если нормаль треугольника направлена против P , то V_i отрицательно. Предложенный метод на CPU ускоряет вычисления в 4 раза по сравнению с интегрированием по объёму.

Для вычислений на GPU использованы GLSL-шейдеры. Каждый поток вычисляет вклад треугольника T_i в интеграл (рис.1в). В зависимости от выбора размера текстуры, хранящей вершины треугольников, время расчёта варьируется от 40 секунд (размер 16×256) до получаса. Опорные точки P в нашей реализации вычисляются на CPU и это занимает до 70% всего времени. Тем не менее, использование GPU дало дополнительный прирост в 60 раз (для GPU GeForce GTX 580). Метод и вычислительный алгоритм неоднократно опробованы и развиты в реальных задачах исследования клеток мозга, начиная с работы [1].

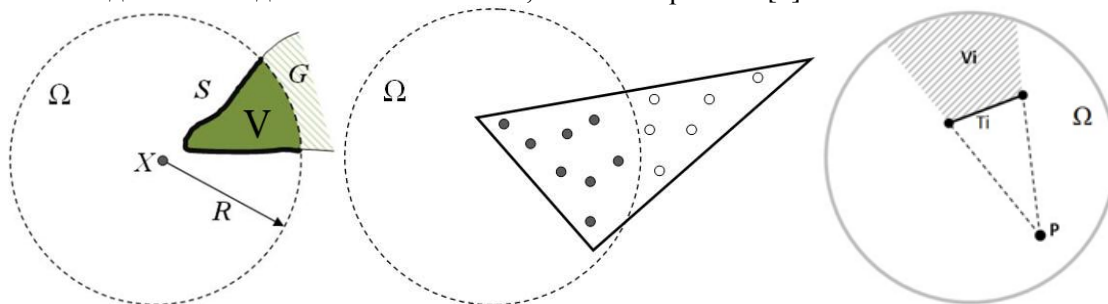


Рис.1. а) Сечение сферой Ω для расчета $SVR(X)=S/V$ (слева); б) случайный выбор точек на треугольнике внутри сферы Ω для расчета S и V ; в) интегрирование по поверхности: объёмов V_i , заданных треугольниками T_i (справа). Точка P задаётся случайно внутри сферы, она одина для всех треугольников.

Литература

1. Patrushev I.V., Gavrilov N.I., Turlapov V.E., Semyanov A.V. Subcellular location of astrocytic calcium stores favors extrasynaptic neuron-astrocyte communication // Cell Calcium. V. 54. № 5. 2013. P. 343–349.

* Работа поддержана грантом (соглашение от 27 августа 2013 г. № 02.В.49.21.0003 между МО РФ и ННГУ).

Development of high-performance GPU-based technique for morphological research of biological objects

Nikolay Gavrilov and Vadim Turlapov

Keywords: GPGPU, astrocytes, cells morphology, Monte-Carlo, surface integral

Surface-to-Volume Ratio, or SVR is one of the most important characteristics of biological objects' morphology. This measure characterizes the metabolism of a bio object and has inverse relation to its radius R as $1/R$. We propose a method for local research of spatial morphology of bio objects in SVR terms. A new computational method was proposed to calculate the volume inside arbitrary mesh and a sphere intersection that is four times faster than a conventional Monte-Carlo method giving the same precision. GPU-implementation increased algorithm performance in 60 times.