

ГЕНЕРАЦИЯ ТРЕХМЕРНЫХ КАРТ НА ОСНОВЕ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ СТАНДАРТА S-57

Рассматриваются существующие проблемы использования двумерных векторных карт стандарта S-57 в системах трехмерной визуализации тактической обстановки. Приводится обзор методов интерполяции разреженных данных для получения карт высот, пригодных для построения 3D-поверхности. Рассмотрены проблемы производительности при реализации выбранного метода и предложены способы их устранения.

Гидрография, стандарт S-57, 3D-визуализация, интерполяция, параллельные алгоритмы

Для наглядного отображения относительного положения надводных кораблей, подводных лодок, буев, нефтяных платформ и прочих морских объектов широко применяется трехмерное представление данных. В связи с тем, что для передачи гидрографических данных между производителями морских карт, навигационных систем, гидрографическими агентствами и службами широко используются векторные электронные карты стандарта S-57, актуальной является задача использования существующих баз файлов в качестве основы для генерации трехмерных карт.

Согласно стандарту, координаты суши и водной поверхности хранятся в виде набора слоев: отдельные слои представляют контуры глубин, контуры высот, береговые линии, искусственные сооружения и прочие объекты * [1] (рис. 1). В большинстве случаев отдельный файл содержит лишь некоторые из всех допустимых слоев, что определенным образом затрудняет задачу построения карт.

Обязательными слоями, необходимыми для определения границ карты и отрисовки глубин, являются следующие:

LNDARE – границы суши;

DEPARE – морские границы и уровни глубин;

SOUNDG – глубины.

Без указанных слоев отрисовка трехмерной сцены неосуществима. Для отрисовки высот на суше необходим также слой LNDELV – высоты (суша).

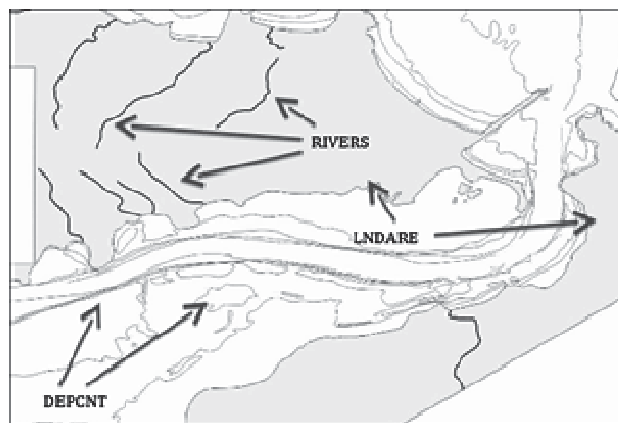


Рис. 1

Остальные слои, которые также могут использоваться при отрисовке, но не являются обязательными:

DEPCNT – контуры глубины;

COALNE – контуры береговой линии;

SLCONS – искусственные морские конструкции;

DRGARE – морской подуровень (часть глубин).

* IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data, Edition 3.1 - November 2000 [Электронный ресурс] / http://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-57Ed3.1/31Main.pdf.

После извлечения указанных слоев для построения трехмерной сетки непосредственно используются трехмерные координаты из уровней DEPARE, SOUNDG и, при наличии, LNDELV.

Характерной особенностью карт стандарта S-57 является хаотичность разброса трехмерных точек: из-за различной плотности точек на различных областях карты матрица координат получается сильно разреженной. Вместе с тем, для отрисовки трехмерной поверхности требуется равномерная сетка координат, т. е. необходимо преобразование входных данных. Для перехода от разреженной сетки к равномерной необходимо аппроксимировать промежуточные значения глубин (высот). Выходная сетка, по сути, представляет собой карту высот и может быть сохранена в стандартном виде, где высоты кодируются значениями оттенков серого 0–255 (рис. 2). Темные области соответствуют рельефу дна (DEPARE, SOUNDG), светлые – рельефу суши (LNDELV).



Рис. 2

Сохранение карты высот также полезно с точки зрения кеширования результатов, так как процесс интерполяции обладает высокой вычислительной сложностью, о чем будет сказано далее.

Классические методы интерполяции – линейная интерполяция, метод Ньютона, метод конечных разностей – позволяют получать промежуточные значения функции, но требуют в качестве входа равномерной сетки опорных точек [2]. Поскольку таких данных в наличии нет, в прямом виде применять классические алгоритмы вычислительной математики здесь нельзя.

В качестве решения задачи интерполяции изначально предлагалось использовать следующий подход:

1. На плоскость бросается точка из равномерной сетки, для которой неизвестно значение глубины (высоты).
2. Ищутся k ближайших точек в окрестности ε заданной точки.
3. Из полученного множества точек строятся треугольники.
4. Из полученного множества треугольников выбираются те, внутри которых лежит искомая точка. Если полученное множество пустое – расширяется окрестность и выполняется шаг 2.
5. Из полученного множества выбирается треугольник, до которого заданная метрика расстояния минимальна.
6. Строится плоскость, проходящая через 3 вершины выбранного треугольника, что позволяет получить искомую глубину (высоту) точки.

В ходе практической реализации выяснилось, что вычислительная трудоемкость данного подхода велика – процесс нахождения k ближайших точек на двумерной плоскости имеет квадратичную вычислительную сложность $O(n^2)$ при хранении данных в виде списка списков. Более эффективная структура данных kd-tree (рис. 3), рассчитанная на хранение разреженных пространственных данных, дает возможность уменьшить сложность до $O(\log n)$ [3]. Опишем алгоритм построения таких деревьев в случае трехмерного пространства:

1. Выбирается первая ось (ось X).
2. Из всего множества точек выбирается медиана по этой оси и записывается в качестве корневого узла дерева.
3. Относительно выбранной медианы точки делятся на 2 подмножества по оси X : «левое» и «правое».
4. Выбирается вторая ось (ось Y).
5. Для каждого подмножества, полученного на шаге 3, выбирается своя медиана по оси Y , и эти подмножества разбиваются надвое относительно своих медиан. Выбранные медианы записываются в качестве дочерних узлов вершины, записанной на шаге 2.
6. Выбирается третья ось (ось Z).
7. Для подмножеств, полученных на шаге 5, производится выбор медиан и разбиение по оси Z . Выбранные медианы записываются в качестве дочерних узлов вершин, записанных на шаге 5.
8. Разбиение подмножеств повторяется, пока есть точки, не вошедшие в дерево. При каждом новом разбиении последовательно меняются оси ($X \rightarrow Y \rightarrow Z$) и дописываются новые узлы дерева.

Кроме того процесс нахождения ближайшего треугольника имеет вычислительную сложность $O(n^3)$, что уже при небольших разрешениях требует значительного времени на просчет карты. В связи с этим было предложено использовать метод ближайшего соседа – выбираются 3 ближайшие точки к заданной и вычисляется их среднее значение.

Данный метод обладает меньшей точностью, но существенно выигрывает по времени.

Пример трехмерной модели карты, построенной по этому алгоритму, изображен на рис. 4. Следует обратить внимание, что данная 3D-поверхность полностью повторяет контуры карты, заданные в исходном файле. В случае отсутствия одного или двух основных слоев (DEPARE, SOUNDG, LNDELV) было бы возможно только частичное построение

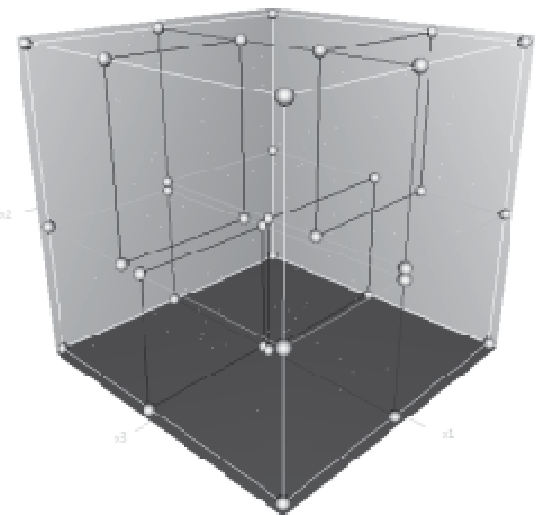


Рис. 3

поверхности. На практике, при загрузке новых карт, допустимо использовать комбинированный подход: первоначальная карта строится более быстрым методом ближайшего соседа, а уточненная карта рассчитывается в фоновом режиме и подставляется по мере готовности. Если же множество рабочих карт ограничено, возможен вариант предварительного просчета всех карт и сохранения их в каталоге карт высот.

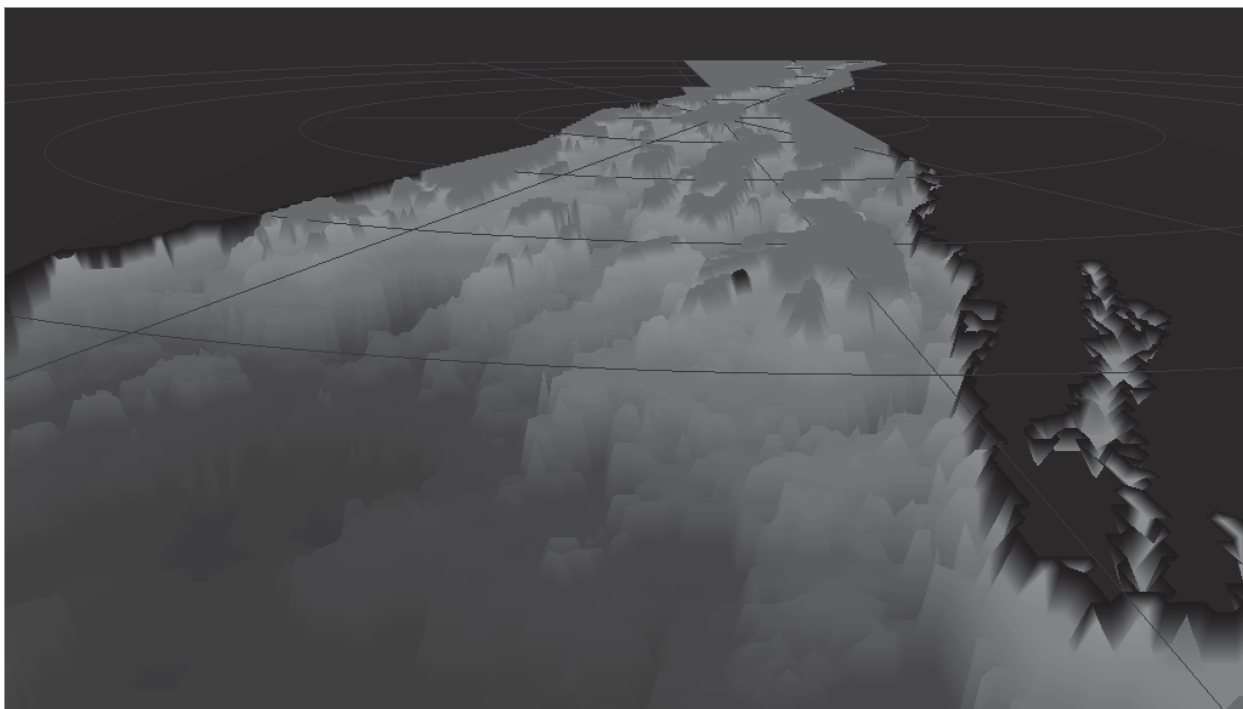


Рис. 4

Дополнительно ускорить процесс построения карт высот позволяет параллельная обработка данных в несколько потоков, так как области карты могут строиться независимо друг от друга. Значение глубины (высоты) каждой из точек на карте высот зависит только от входных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Договор № 02.G25.31.0058).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mitchell T. Web Mapping Illustrated: Using Open Source GIS Toolkits. O'Reilly Media, Inc., 2005.
2. Phillips G. M. Interpolation and Approximation by Polynomials (CMS Books in Mathematics). New York: Springer-Verlag, Inc., 2010.
3. Sedgewick R., Wayne K. Algorithms. Pearson Education, Inc., 2011.

I. A. Golubev, N. V. Gubarev

3D-MAP GENERATION FROM HYDROGRAPHIC DATA BASED ON S-57 STANDART

The article covers various arising issues of usage S-57 standard based maps in hydrographic 3D-visualization systems. Methods of sparse data interpolation for generation of heightmaps are reviewed. Challenges of using the selected method in real-life conditions are considered, and ways to overcome them are proposed.

Hydrography, S-57 standart, 3D-visualization, interpolation, parallel algorithms