

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ КАРТЫ ГЛУБИН ВОДОЕМОВ

А.В. Шустанов, П.Ю. Якимов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) (СГАУ), Самара, Россия

Большинство современных устройств для получения данных о текущей глубине водоема под плавательным средством оборудованы датчиком GPS и устройствами передачи данных, благодаря чему возможно строить карту глубин на удаленном сервере, используя множество сенсоров. Однако, учитывая, что получаемые данные распределены по местности неоднородно, а также существующую погрешность в измерении глубины, возникает необходимость применить метод интерполяции для сглаживания получаемых поверхностей и восстановления недостающих значений глубины. Настоящая статья описывает сравнение подходов к построению карты дна водоемов в условиях ограниченности вычислительных мощностей. Также приведено сравнение различных методов интерполяции поверхностей и исследована возможность реализации указанных методов на мобильном устройстве.

Ключевые слова: Реальное время, интерполяция, метод естественных окрестностей, построение рельефа

Введение

В последнее время на воде появляется всё больше и больше маломерных судов, а, следовательно, и судолюбителей. Каждый хочет сохранить свою лодку в целостности и сохранности и знать акваторию вокруг.

Как известно, под водой таится много опасностей в виде коряг, кочек и других резких перепадов глубин в меньшую сторону. Для опытных судолюбителей это может показаться не проблемой, но только в местах постоянного нахождения. На данный момент есть множество эхолотов, но главная проблема заключается в том, что они могут показывать глубину непосредственно под лодкой, а не впереди неё.

В настоящей статье рассматриваются имеющиеся математические алгоритмы для графического отображения информации на экране мобильного устройства и определяются наиболее подходящих к задаче визуализации рельефа дна водного пространства. На их основе будет разработано мобильное приложение для рыбаков и лодочников которое решает проблему отсутствия актуальной картографии на воде объединяя геолокационные данные и данные о глубине с эхолота.

Постановка задачи

В качестве исходных данных используются измерения эхолота Garmin echo 201dv, оснащенного GPS приемником. Данные поступают в режиме реального времени с COM-порта эхолота. Данные передаются на телефон или планшет на базе Android через Bluetooth соединение посредством чипа HC-05. Непосредственно с устройством на базе Android взаимодействует конечный пользователь.

Данные получаемые с эхолота представлены в текстовом формате NMEA 0183. NMEA 0183 (название от «National Marine Electronics Association») — текстовый протокол связи

морского (как правило, навигационного) оборудования (или оборудования, используемого в поездах) между собой. Стал особенно популярен в связи с распространением GPS приемников, использующих этот стандарт. Данные передаются в виде списка отдельных сообщений. Каждое сообщение имеет свой тип и несет разнородную информацию. Нас интересуют сообщения типа GPRMC, несущие информацию о местоположении, скорости и направлении движения, и поступающие с GPS приемника, и сообщения типа SDDPT, поступающие с датчика глубины. С учетом времени получения каждого сообщения, направления и скорости движения, формируются гео-точки, представляющие собой тройку (x, y, z) .

Кроме того, точки могут поступать с сервера, размещенного в сети Интернет, куда попадают от других пользователей. Таким образом, количество данных может быть поистине огромным для телефона или планшета. Хранение данных на сервере в виде точек, а не в виде растровой отрисованной карты обусловлено тем, что пользователь должен иметь возможность в режиме реального времени уточнять и дополнять карту, а для этого, понадобятся «сырые» данные.

Задача заключается в построении и последующем обновлении карты дна водоема в режиме реального времени. Требуется предоставить допустимую для конечного пользователя точность и скорость отрисовки карты. Данная задача, имеет несколько аспектов, которые следует рассмотреть.

Существующие методы интерполяции

Билинейная интерполяция

Билинейная интерполяция является расширением линейной интерполяции для функции двух переменных [1]. В качестве входных данных принимаются 4 координаты, проекции которых на плоскость xOy находятся в вершинах некоторого прямоугольника. Также, данный метод можно применить к любой регулярной сетке, последовательно применив его к каждой «ячейке».

Преимущества данного метода – простота и огромная скорость вычисления, при распараллеливании на GPU. Однако, в реальности, мы не можем обеспечить получение данных в таком формате. Реальные данные представляют собой нерегулярную сетку, в которой частота узлов не постоянна, и может сильно меняться от одной области к другой. Тем не менее, к этому методу мы еще вернемся.

Метод обратных взвешенных расстояний

Метод обратных взвешенных расстояний снимает жесткие ограничения на формат входных данных [2]. Рассмотрим вычисление неизвестного значения интерполируемой функции в некоторой точке (x_0, y_0) . Определим вес известного значения функции $z_i = f(x_i, y_i)$, как $w_i = (\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2})^{-p}$.

Веса пропорциональны обратным расстояниям (между известной и интерполируемой точкой), возведенными в степень p . Таким образом, по мере увеличения расстояния до интерполируемой точки, вес известного значения будет уменьшаться. Скорость уменьшения весов зависит от параметра p . искомое значение будем рассчитывать, как $z_0 = \frac{\sum w_i z_i}{\sum w_i}$. Получается, что точки, удаленные на некоторое расстояние r , почти не будут

оказывать влияние на вычисляемое значение. Тогда для каждого искомого значения будем брать только те известные значения, которые находятся в радиусе r от него. Сравнение результатов работы алгоритмов ОВР и сплайнов показано на рис. 1.

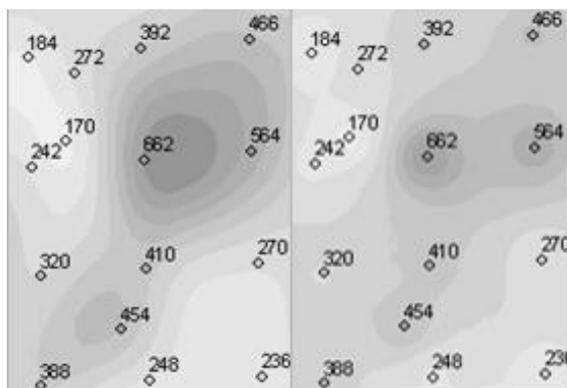


Рис. 1. Сравнение методов интерполяции сплайнами и обратными взвешенными расстояниями

Данный метод имеет ряд минусов – он требует большое количество вычислений и долго работает при большом количестве исходных данных. Кроме того, в полученной функции, точки с известными значениями будут являться локальными экстремумами.

Метод естественных окрестностей

Данный метод также известен как метод Сибсона [3]. С помощью данного метода рассчитывается сразу некоторая окрестность. Учтем, что для конкретной задачи на выходе мы должны получить отрисованную карту глубин, поэтому проведем дискретизацию и будем оперировать понятием растр.

Для каждого растра рассчитываемой области найдем ближайшую известную точку на расстоянии $r < r_0$. Приплюсуем значение этой точки всем растрам в радиусе r от рассматриваемого. После разброса значений всех растров усредним значение каждого растра разделив его на количество повлиявших на него известных значений искомой функции. На рис. 2 можно наблюдать сравнение результата работы метода Сибсона и метода сплайнов.

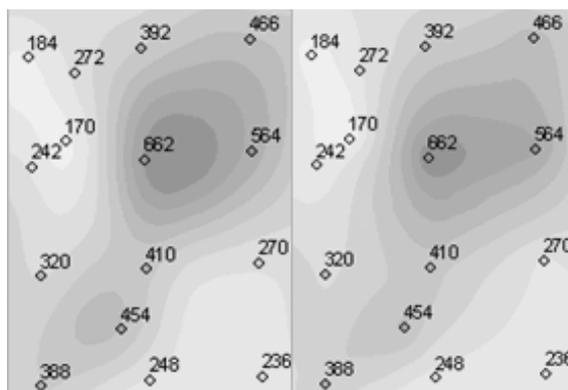


Рис. 2. Сравнение методов интерполяции сплайнами и естественными окрестностями

Самый главный плюс данного метода – отсутствие потребности обрабатывать все известные точки, а только те, которые являются ближайшими к некоторым растрам, при текущем уровне детализации. За расстояние между известной точкой и растром берется расстояние между известной точкой и центром растра.

Рендеринг карты на мобильном устройстве

Особенности отображения карты на мобильном устройстве

Область карты, которая может потребоваться конкретному пользователю, может быть очень велика. Кроме того, она может понадобиться в разных детализациях. Расчет большой области может потребовать больших вычислительных мощностей, которыми мобильное устройство не обладает, и времени. Для ориентации на местности также, помимо карты глубин, требуется карта самой местности, которая тоже может быть большой и быть представленной в разных уровнях детализации.

Современные мобильные геоинформационные системы обходят эти проблемы, фрагментируя карту на «тайлы» – квадратные участки карты. На нулевом уровне детализации весь земной шар уместается на тайле. Каждый следующий уровень детализации дробит каждый тайл на 4 новых.

Для того, чтобы земной шар спроецировать на квадрат, используется проекция Меркатора [4]. Проекция также называется равноугольной, потому что в ней сохраняются углы между направлениями. Простейший вариант такой проекции – проекция шара на цилиндр.

На рис. 3 заметны характерные особенности проекции Меркатора – она растягивается к полюсам, и Гренландия визуально становится больше Австралии.

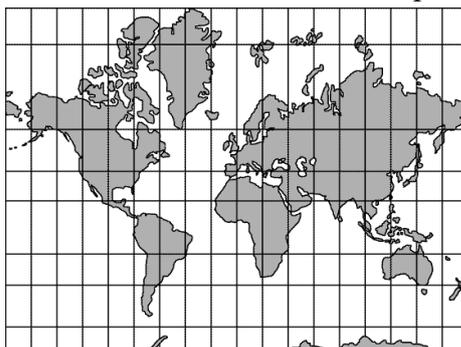


Рис. 3. Проекция Меркатора

Логично, для экономии ресурсов, обсчитывать только те тайлы, которые в данный момент видит пользователь.

Хранение точек

Для расчета тайла из общего набора точек нужно сделать выборку точек, оказывающих непосредственное влияние на данный тайл. Для этого точки следует хранить в структуре данных, которая позволяет делать это операцию быстро. Такой структурой, например, может быть квадродерево.

Квадродерево – аналог обычного бинарного дерева в двумерном пространстве [5]. Каждый узел такого дерева ассоциируется с некоторой географической квадратной областью, и может иметь 4 подузла. Листья – узлы, не имеющие подузлов – хранят непосредственно точки. Таким образом, вместо полного перебора всех точек, можно спускаться вниз по дереву, и «собирать» подходящие точки.

Структура дерева квадрантов визуально представлена на рис. 4.

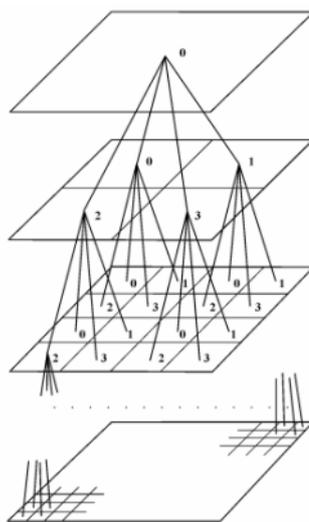


Рис. 4. Дерево квадрантов

Ускорение метода естественных окрестностей

Размер тайла в существующих мобильных геоинформационных системах обычно берется равным 256x256 пикселей. Для каждого пикселя требуется найти ближайшую точку. Рассчитывать такое количество пикселей может быть затратным.

Назовем пиксели с координатами, кратными 16, узлами. Мы получим сетку. С помощью интерполяции методом естественных окрестностей рассчитаем значения глубины в этих узлах. С полученной сеткой можно работать с помощью билинейной интерполяции. Такой подход позволяет производить расчет тайла с большой скоростью, в некоторый ущерб качеству.

Поиск ближайшей точки

Чем меньше уровень детализации, тем больше площадь географической области, ассоциированной с тайлом, и тем больше известных точек попадает в него. Поиск ближайшей к узлу точки в таком случае все еще может представлять большую задачу, несмотря на предварительную выборку точек, находящихся в тайле. Для ускорения операции поиска ближайшей точки опять воспользуемся квадродеревом.

Перед отрисовкой тайла сформируем квадродерево из точек. Самый интуитивный метод поиска ближайшей точки предполагает выборку из дерева квадратной области с длиной $2r_i$ и с центром с координатами рассчитываемого узла. Такой подход ускорит поиск ближайшей точки, избавив от полного перебора точек тайла.

Экспериментальное сравнение методов

Сравним работу метода естественных окрестностей и комбинированного метода с использованием билинейной интерполяции. Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Из таблицы видно, что скорость работы комбинированного алгоритма может быть более чем в 300 раз быстрее. Отсутствие сильного замедления работы всех алгоритмов, при увеличении количества входных данных более чем в 4 раза, связано с использованием метода сужения круга поиска ближайшей точки. Учитывая, что на одинаковом наборе входных данных квадродерево строится одинаковое, а время работы самого быстрого алгоритма, с учетом построения дерева равно 11 миллисекунд, можно сделать вывод, что само дерево строится чрезвычайно быстро.

Табл.1. Сравнение скорости работы методов интерполяции

Метод			Количество точек	Время работы, мс
Естественных окрестностей. 256x256 пикселей.			1020	4203
Комбинированный. Сетка 33x33 узла.				45
Комбинированный. Сетка 17x17 узлов.				11
Естественных окрестностей. 256x256 пикселей.			4615	5542
Комбинированный. Сетка 33x33 узла.				76

На рис. 5а и рис. 5б представлены сравнения результатов работы алгоритмов. Визуально заметно, что комбинированный алгоритм «огрубляет» результат.

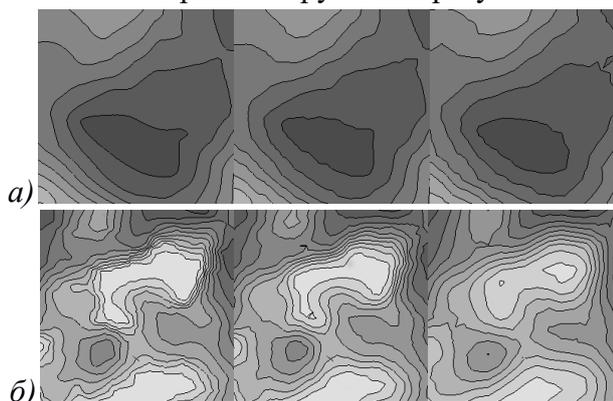


Рис. 5. Сравнение результатов

Заключение

В настоящей статье представлен подход, позволяющий быстро строить карты дна в условиях ограниченности ресурсов. Подход основан на идее, что рассчитывать нужно только то, что пользователь видит в настоящий момент. Некоторый ущерб качеству компенсируется возможностью рассчитать интересующий участок в «приближенном» варианте. Таким образом, комбинированный метод с использованием билинейной интерполяции показал высокую эффективность в решении поставленной задачи. Время его работы остается приемлемым, даже при большом количестве входных данных.

Литература

1. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб. пособие. - СПб.: БХВ-Петербург, 2011. - 608с.: ил.
2. Александрова Н. В., Зимин А. П., Косников Ю. Н. ББК 32 Смешивающие функции в геометрическом моделировании и визуализации поверхностей свободных форм //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. – С. 51.
3. Майдаков, М.А. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика [Текст] / М.А. Майдаков // Метод дискретной интерполяции Сибсона без построения диаграммы Вороного. – 2010. № 1.1(72). – С. 90-91
4. ДеМерс, М.Н. Географические информационные системы. Основы – Пер. с англ. Дата+, 1999. – 288 с.
5. Апанович З.В. Современные силовые алгоритмы для визуализации информации большого объема //Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XIV Международной конференции. – 2012. – С. 19-22.