

Геометрический подход для решения задачи расчёта зон затопления

Н.С. Мирза
Томский государственный университет,
Томск, Россия
mirza@indorsoft.ru

Аннотация

В данной работе автором предлагается решение задачи расчёта зон затопления с помощью анализа триангуляционной модели рельефа. Предлагаемое решение может применяться для визуальной оценки модели рельефа, а также для решения задач, связанных с проектированием геообъектов.

Ключевые слова: Зона затопления, триангуляционная модель рельефа, вычислительная геометрия, ГИС, САПР, проектирование водоотвода.

1. ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день для задач автоматизированного проектирования объектов гражданского, промышленного и транспортного строительства существует достаточно много программных решений. Однако по-прежнему существует множество задач, которые проектировщики вынуждены выполнять вручную, т.к. ещё не для всех из них предложено удовлетворительное решение. Так, например, проектирование водоотвода осуществляется с помощью визуальной оценки направлений уклонов модели рельефа, так как до сих пор не предложены работающие на практике алгоритмы автоматического построения зон затопления.

Далее определим задачу расчёта зон затопления.

Определение. Задачей расчёта зон затопления на некотором участке поверхности будем называть задачу нахождения множества регионов, в которых будут образовываться скопления воды после выпадения заданного количества осадков.

Нахождение зон затопления особенно актуально для ГИС и САПР, так как это повышает наглядность представления модели рельефа, позволяет обосновать необходимость построения ливнёвой канализации в заданных участках, а также наглядно продемонстрировать огрехи в процессе проектирования.

2. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ

В настоящее время в мире наиболее распространены два подхода к решению задачи расчёта зон затопления.

1. *Гидрологический подход* – применяется для анализа на макроуровне, т.е. для территорий с площадью в десятки и сотни километров в квадрате [1].
2. *Гидродинамический подход* – применяется для моделирования поведения воды на микроуровне и требует мощного аппаратного обеспечения для моделирования очень небольших потоков воды [2].

Отметим, что точное решение задачи расчёта зон затопления требует учёта огромного числа факторов, таких как впитываемость почв, наличие грунтовых вод, температура воздуха и др. и может решаться только с помощью гидродинамического подхода. Однако, на практике при проектировании геообъектов достаточно и приближённого решения, которое может быть получено с помощью геометрического подхода.

Далее автором предлагается новый алгоритм расчёта зон затопления, который может успешно применяться в ГИС и САПР объектов промышленного, гражданского и транспортного строительства.

3. АЛГОРИТМ РАСЧЁТА ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ, ОСНОВАННЫЙ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ

Предлагаемый автором алгоритм основан на анализе *триангуляционной модели поверхности* [3], которую можно нестрого определить как триангуляцию, всем узлам которой поставлена в соответствие их высота (Z -координата).

В качестве структуры данных для представления поверхности лучше всего использовать структуру «Узлы, простые рёбра и треугольники» [3]. В данной структуре каждый треугольник содержит ссылки на три образующих его узла, на проходящие через него структурные рёбра и на три соседних треугольника. Использование подобной структуры данных позволяет существенно увеличить скорость работы алгоритмов анализа триангуляционной модели поверхности, на которых основан предлагаемый алгоритм.

Алгоритм расчёта зон затопления

Входные данные:

1. Триангуляционная модель поверхности T .
2. Объём выпавших осадков V , мм/м²

Выходные данные: Список полигонов, соответствующих искомым зонам затопления с заданным объёмом воды.

Структура алгоритма:

Шаг 1. Осуществляется поиск всех «рёбер перелома» - рёбер триангуляции T , в которых экспозиция (направление) склона меняет своё значение на противоположное (рис. 1, 2а).

Шаг 2. Для каждого найденного ребра перелома находится узел с наименьшей Z -координатой (h). Затем по уровню h строится *изолиния* исходной триангуляции – геометрическое место точек на поверхности, имеющих высоту h и имеющих в любой своей окрестности другие точки с меньшей высотой [3] (рис. 2б).

Тем самым моделируется ситуация заполнения поверхности водой до уровня h . При этом контур искомой зоны затопления с максимальным уровнем воды будет соответствовать той части изолинии, которая проходит через ребро перелома.



Рис. 1. Пример ребра перегиба в алгоритме расчёта зон затопления

Если построенная изолиния состоит из нескольких контуров, то необходимо выбросить из рассмотрения те контуры, которые не относятся к текущему ребру перелома. Таким образом, мы будем рассматривать только некоторый локальный участок поверхности, где предположительно может образоваться зона затопления.

После этого необходимо проверить содержат ли контуры изолинии внутри себя граничные узлы триангуляции с меньшей высотой. Если да, то это значит, что вода будет вытекать за границы поверхности. Следовательно, зоны затопления с уровнем h не будет. В противном случае считаем, что зона затопления найдена и добавляем её в список зон затопления.

Шаг 3. Строим дерево связей всех найденных зон затопления следующим образом.

Если одна зона затопления полностью включает в себя другую (рис.2в), то считаем, что зона затопления с большим контуром – это родитель, а с меньшим – потомок.

Шаг 4. По каждой зоне затопления строится зона водосбора – список треугольников, с которых вода будет стекать в соответствующую зону затопления.

Шаг 5. Для каждой зоны водосбора рассчитывается объём воды, приходящийся на её площадь по формуле $V_i = S_i \cdot V$, где S_i – площадь соответствующей зоны водосбора.

Шаг 6. Для каждой зоны затопления, начиная с листьев в дереве связей зон затопления, осуществляется проверка на переполнение воды.

Если объём воды в зоне водосбора превышает максимальный объём зоны затопления, то переходим на **Шаг 7.**

Иначе, методом половинного деления осуществляется поиск уровня воды в зоне затопления, соответствующий требуемому объёму (ограничив при этом число итераций до 10). По найденному уровню снова строится изолиния по поверхности внутри соответствующей зоны затопления. Полученная изолиния будет соответствовать положению

воды на данном участке поверхности, поэтому добавляем её в результирующий список зон затопления с заданным объёмом воды.

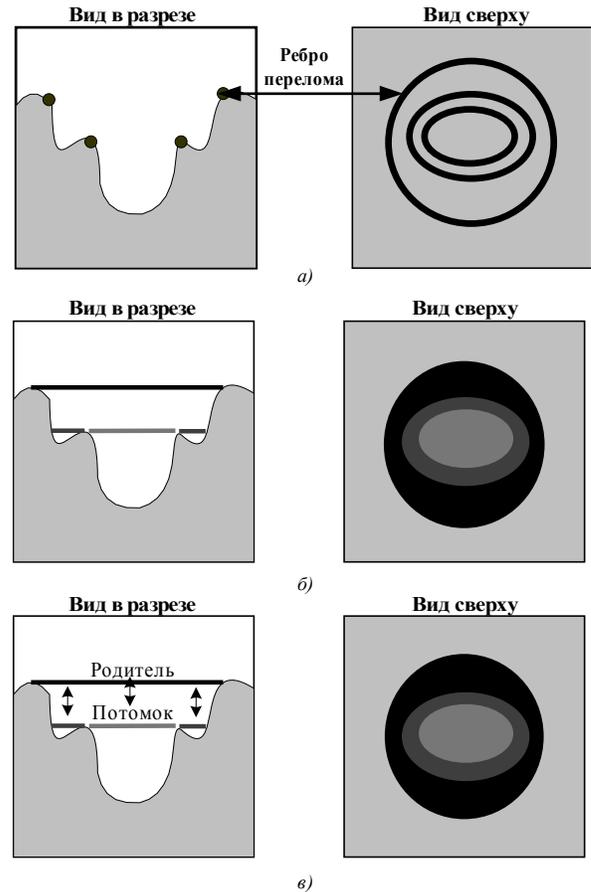


Рис.2. Последовательность шагов алгоритма расчёта зон затопления. а) – нахождение ребёр перегиба; б) – построение изолиний по ребрам перегиба; в) – установка связей между изолиниями зоны затопления.

Шаг 7. Рассчитаем перелив воды следующим образом.

Если у проверяемой зоны водосбора есть родитель, то это значит, что перелива воды не будет, вода просто поднимется выше в родительскую зону затопления. Поэтому проверять на переполнение следует родительскую зону затопления.

Если же у проверяемой зоны затопления нет родителя, то находятся узлы триангуляции T , через которые проходит контур зоны затопления. Именно через эти узлы вода будет переливаться в другие зоны водосбора. Находим для каждого такого узла смежные зоны водосбора и добавляем туда объём перелившейся воды, пропорционально площади треугольника, моделирующего поток воды, движущийся в соответствующую зону водосбора (рис. 3). Здесь следует отметить, что часть воды так же будет выливаться за пределы поверхности.

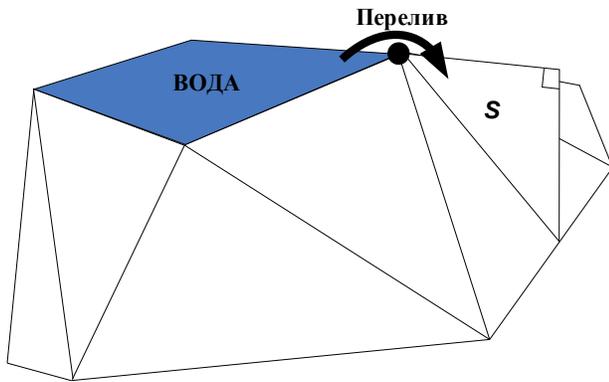


Рис. 3. Треугольник, пропорционально которому рассчитывается объём дополнительной воды для соответствующей зоны водосбора

Таким образом, данная процедура продолжается до тех пор, пока не будет осуществлён перелив воды для всех зон затопления.

После этого, в результирующий список зон затопления добавляются контуры обработанных на данном шаге родительских зон затопления, соответствующих максимальному уровню заполнения.

Конец алгоритма.

Трудоёмкость данного алгоритма составляет $O(N \cdot C)$, где N – число узлов в триангуляции, а C – число рёбер перегиба. Трудоёмкость складывается из процедуры построения изокоординат, которая имеет трудоёмкость $O(N)$ [3] и повторяется она для всех рёбер перегиба, т.е. C число раз.

Результат экспериментального моделирования алгоритма представлен на рис. 4.

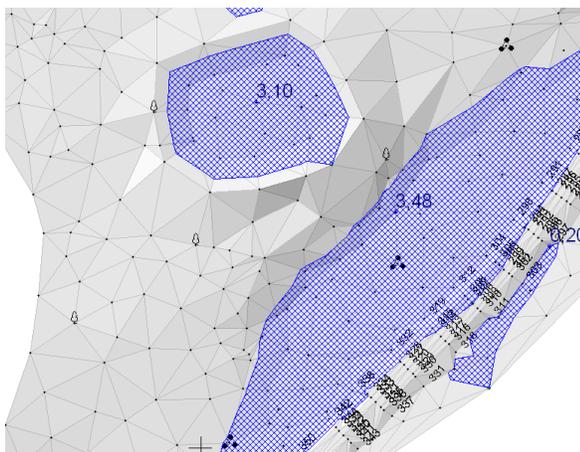


Рис. 4. Пример расчёта зон затопления в системе автоматизированного проектирования IndorCAD

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предложен алгоритм расчёта зон затопления, который может применяться в системах автоматизированного проектирования объектов гражданского, промышленного и транспортного строительства. Отличительной особенностью данного алгоритма, по сравнению с известными, является применение геометрического подхода к решению задачи расчёта зон затопления.

Однако предложенный алгоритм использует исключительно модель рельефа и не учитывает наличия колодцев и водопропускных труб на местности. Поэтому в дальнейшем планируется модифицировать алгоритм для более точного моделирования водоотвода.

5. БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Коваленко В.В. Моделирование гидрологических процессов. – СПб: Гидрометеониздат, 1993 – 250 с.
- [2] Роуч П. Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980 – 616 с.
- [3] Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.

Об авторах

Мирза Наталия Сергеевна – кандидат технических наук, ассистент факультета Информатики Томского государственного университета.

Адрес: Томск, 634050, пр-т Ленина, 36, ТГУ.

Телефон: 8(3823) 99-94-81

E-mail: mirza@indorsoft.ru

Geometric method of flood zones calculating

Abstract

This paper is devoted to solving the problem of drain zones calculation using triangulated irregular network analysis. The suggested solution can be used for visual estimation of surface model and solving some designing problems.

Keywords: Flood zone, triangulated irregular network, computational geometry, GIS, CAD, drainage system.

About the author(s)

Natalia Mirza is a PhD at Tomsk State University, Department Of Computer Science. Her contact e-mail is mirza@indorsoft.ru.