

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 528.854.2:528.852.3

DOI: 10.22389/0016-7126-2018-937-7-57-64

Алгоритм адаптивной коррекции структурных форм глобальных цифровых моделей высот

©¹Жданов А. Ю., ²Панкин А. В., ³Рентель А. В., 2018

^{1,3}Научно-исследовательский институт точных приборов
127490, Россия, г. Москва, ул. Декабристов, д. 51

²Научный центр оперативного мониторинга
Земли АО «Российские космические системы»
127490, Россия, г. Москва, ул. Декабристов, д. 51, строение 25

¹alexzhdanov1003@gmail.com ²apcrit@yandex.ru ³progress75@yandex.ru

В связи с различными факторами, такими как шаг интерполяции или особенности работы автоматических корреляторов, глобальные цифровые модели высот часто имеют эффект занижения высоты, что приводит к неточному отображению на них структурных форм рельефа, например хребтов. В статье предложен алгоритм адаптивной коррекции высотного положения структурных форм рельефа на цифровых моделях высот, состоящий из двух этапов. На первом этапе проводится автоматическая классификация структурных форм на основе анализа разности высот между соседними элементами цифровой модели. На втором этапе на основании присвоенных классов выбираются элементы цифровой модели высот, подлежащие коррекции, и рассчитываются новые значения высоты. Работа алгоритма протестирована на данных глобальной цифровой модели высот ALOS World 3D, результаты оценены по пунктам государственной геодезической сети и данным миссии ICESat. Разработанный алгоритм показал улучшение точности цифровой модели высот, особенно в высокогорных районах, а также позволил выявить участки, требующие дополнительной проверки.

Автоматический поиск хребтов, коррекция цифровой модели высот, цифровые модели высот.

Для цитирования: Жданов А. Ю., Панкин А. В., Рентель А. В. Алгоритм адаптивной коррекции структурных форм глобальных цифровых моделей высот // Геодезия и картография. – 2018. – Т. 79. – № 7. – С. 57–64. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-937-7-57-64

Введение

В настоящее время глобальные цифровые модели высот нашли широкое применение в приложениях геоинформационных систем для решения различных расчётных задач. В качестве информации о высотах на обширных по площади территориях используют данные глобальных моделей ALOS World 3D (ALOS W3D30) [5], SRTM и др., находящихся в открытом доступе.

Формально ALOS W3D30 – цифровая матрица поверхности; далее для удобства

будем использовать термин «цифровая модель высот» (ЦМВ). При оценке точности данной модели высот на территории постсоветского пространства в качестве планово-высотной основы использованы сведения о пунктах государственной геодезической сети (ГГС), данные, полученные с помощью лазерного высоотомера космического аппарата ICESat [1], и другая контрольная топогеодезическая информация. Точность координат и высот пунктов ГГС регламентирована нормативно-техниче-

ской документацией. Заявляемая оператором данных ICESat субметровая точность высот проверена и подтверждена другими видами геопространственной информации, характеризваемой заведомо более высокими точностными параметрами в разных районах, в том числе спутниковыми геодезическими измерениями и данными воздушно-го лазерного сканирования. Дискретность цифровой матрицы поверхности ALOS W3D30 составляет 1", что соответствует на местности приблизительно 30 м на север и значению, пропорциональному косинусу широты, на восток. Точки лазерных отражений (ТЛО) ICESat, как и данные цифровых моделей высот, представлены в общеземной системе координат.

Если на равнинных участках местности расхождения высот цифровой модели с высотами пунктов ГГС и ТЛО ICESat находятся в узком диапазоне, что указывает на согласованность эталонной информации (ГГС и ICESat) с ЦМБ через модель квазигеоида, а значит, и на надёжность оценки точностных параметров, то в условиях горного и высокогорного рельефа значения высот ЦМБ и эталонной информации существенно расходятся. При выполнении оценки точности относительно пунктов ГГС отмечается увеличение систематической составляющей ошибки, значение которой растёт вместе с абсолютными значениями высот рельефа и значениями уклонов.

В основном ТЛО ICESat лежат на ледниках, склонах, равнинных участках, а на вершинах почти отсутствуют. Пункты ГГС, наоборот, расположены на вершинах возвышенностей, на господствующих высотах хребтов.

Установлено, что ЦМБ ALOS W3D30 имеет эффект занижения высот вершин, хребтов, «смазывания» бровок обрывов, осыпей, наиболее заметно проявляющийся в условиях высокогорья. Причины этого явления предположительно следующие:

увеличение дискретности регулярной сетки при создании производителями открытых версий ЦМБ путём интерполяции детальных коммерческих данных;

специфика алгоритмов работы автоматического коррелятора при построении поверхности рельефа по материалам космической стереосъёмки;

условия выполнения съёмок и свойства подстилающей поверхности.

Наиболее корректный способ устранения этого эффекта – «достраивание» рельефа на всех остроконечных вершинах и водоразделах по стереоизмерениям. Однако при реализации этого подхода на обширных территориях затраты (трудовые и финансовые) будут неоправданно большими.

В сложившейся ситуации целесообразно применить математический аппарат адаптивной коррекции, учитывающий характер рельефа, но не зависящий от контрольной информации.

Описание существующих алгоритмов

Из рассмотренных методов детектирования хребтов и вершин были выбраны наиболее удачные с точки зрения функциональности, скорости расчёта и независимые от абсолютных высот [2, 3]. Оптимальным вариантом оказался алгоритм классификации форм рельефа, описанный в работе [2], основанный на сравнении высот рассматриваемого пикселя с окружающими соседними по четырём направлениям. Данный алгоритм сравнивает форму рельефа с 32 априорными образцами, разделёнными на шесть категорий, и по результату этого сравнения выносит решение об определении пикселя как хребта.

Предложенный в работе [2] алгоритм не зависит от абсолютной высоты пикселя, имеет вычислительную сложность $O(N)$. Это означает, для обработки каждого элемента множества необходимы максимум N обращений к его элементам, т. е. один полный обход, что считается одним из наилучших вариантов в обработке изображений. Алгоритм не требует экспериментально определяемого порога распознавания, но обладает сложным правилом принятия решений, которое не лишено конфликтных ситуаций, когда одна категория принимает положительное решение, другая – отрицательное. Авторы алгоритма решили эту

проблему, выстроив каскад решений, в котором категории опрашиваются по очереди, и первая категория, вынесшая положительное решение, прерывает опрос каскада. Следует отметить, что описанные шесть категорий являются, по сути, описанием применения трёх бинарных поворачиваемых фильтров размером 3×3 . Это уменьшает возможности улучшения алгоритма при использовании оригинального изложения или увеличивает сложность изначальной реализации при точном исполнении метода классификации поворачиваемыми фильтрами.

Отметим, что авторы работы [4] также описывают различные принципиальные характеристики для формализации понятий «хребет» и «долина» в контексте задач анализа изображений.

Описание разработанного алгоритма

После анализа найденных алгоритмов разработан собственный вариант, основанный на алгоритме классификации форм рельефа (shape classification method) [2], но с устранением основных проблем и сложностей данного решения. Алгоритм базируется на классификации форм рельефа на основании разницы превышений высот с соседними значениями. Он разделён на два этапа: классификация форм рельефа и выделение хребтов. На первом этапе всем пикселям цифровой модели присваивается индекс класса, зависящий от сравнения высоты пикселя с высотами соседних пикселей. На втором этапе выносится решение о том, какие из обнаруженных классов причислять к хребтам, а какие к другим формам рельефа, и исходя из этого к ним применяется коррекция высот.

Данное решение, по сути, обобщает алгоритм классификации форм рельефа с использованием локальных бинарных шаблонов, предложенный в работе [2]. Это обобщение открывает широкие возможности для дальнейшего развития алгоритма в части распознавания различных форм рельефа с использованием широкого набора методов машинного обучения, разработанных в последние годы.

Форма рельефа определяется кодом, основанным на разности превышений:

$$\text{Class}_{(x,y)} = \sum_{i=-r, j=-r}^{r, r} \begin{cases} -1, & \text{DEM}_{(x,y)} > \text{DEM}_{(x+i, y+j)}; \\ 0, & \text{DEM}_{(x,y)} = \text{DEM}_{(x+i, y+j)}; \\ 0, & i = 0, j = 0; \\ 1, & \text{DEM}_{(x,y)} < \text{DEM}_{(x+i, y+j)}, \end{cases}$$

где $\text{Class}_{(x,y)}$ – индекс класса формы рельефа; x, y – координаты пикселя; r – радиус окна сканирования; i, j – индекс элемента в окне сканирования; $\text{DEM}_{(x,y)}$ – высота ЦМБ в точке с координатами (x, y) .

Если высота соседнего пикселя превышает высоту текущего пикселя, то к индексу класса необходимо прибавить 1, если же высота текущего пикселя превышает высоту соседнего – вычесть 1, если высоты текущего пикселя и соседнего одинаковы, то индекс остаётся неизменным. Итоговая сумма по всем соседям в радиусе сканирования – индекс класса текущего пикселя (рис. 1). Таким образом, все точки ЦМБ разделяются на n классов: $n = 2[(2r+1)^2 - 1] + 1$; в базовом случае $r = 1$, следовательно, $n = 2 \cdot 8 + 1 = 17$ классов, от -8 до $+8$.

В полученном множестве классов существуют классы относительных возвышений, требующие коррекции занижения данных ЦМБ. В предложенной методике предлагается отфильтровать классы локальных возвышенностей от классов локальных низин и классов склонов методом пороговой бинаризации. Преимущество такого подхода – простота реализации, а недостаток – необходимость опытного (экспериментального) подбора порога локальных возвышенностей K . Пороговый

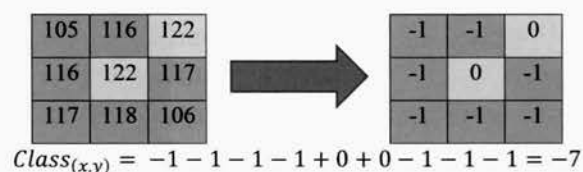


Рис. 1. Пример расчёта значения класса формы рельефа в ячейке ЦМБ
Fig. 1. Determination of landform class for DEM cell