

# Автоматическая генерализация графических объектов с учетом иерархии классов

Н.С. Пономарев, А.С. Тарасенко, Т.Ш. Утешева  
ponom.nikita@gmail.com|tarasenk93@gmail.com|uts13@yandex.ru

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

*Разработан алгоритм цензово-нормативного отбора дискретных картографических объектов, основанный на использовании двух критериев: близости и удельной плотности с учетом иерархии приоритетов классификационных кодов и значений атрибутов.*

**Ключевые слова:** автоматическая генерализация, картографические объекты, иерархия классов.

## Automatic generalization of graphic objects taking into account the hierarchy of classes

N.S. Ponomarev, A.S. Tarasenko, T.Sh. Utesheva  
ponom.nikita@gmail.com|tarasenk93@gmail.com|uts13@yandex.ru

Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Russia

*The algorithm of censor-standard selection of discrete cartographical objects, based on the use of two criteria: proximity and specific density, taking into account the hierarchy of classification code priorities, is developed.*

**Keywords:** automatic generalization, cartographical objects, hierarchy of classes.

### 1. Введение

Важнейшей характеристикой современных цифровых карт, определяющей их интеллектуализацию, является мультимасштабность [1]. В [2-4] дан обзор этапов возникновения и развития мультимасштабного картографирования как научного направления. Предпосылки для возникновения мультимасштабного картографирования были заложены в работах по автоматизированной генерализации, выполнявшихся в 60-е - 70-е годы прошлого столетия [7, 10]. Проблема формализации процесса генерализации была обозначена в 80-х годах, были сформулированы первые принципы данного процесса [5]. Идея множественных представлений (multiple representations) была заложена в работе [9] и получила развитие в [6, 8]. В 2000-е годы разрабатывается идея создания мультимасштабных карт на основе баз данных, большое внимание уделяется графическим аспектам. В это же время в широком доступе появились мультимасштабные карты OpenStreetMap (2004), Яндекс Карты (2004), Google Maps (2005).

В основе механизма мультимасштабности лежит автоматическая генерализация картографических объектов. На данный момент правила автоматической генерализации слабо формализованы. В работе [8] предложена структура классификации операторов преобразования набора данных из источника в целевую модель, основанная на общепринятой модели обобщения Грюнрайха. В работе [9] рассматривается проблема автоматизированной генерализации, основанной на качественном и количественном анализе. Следует отметить, что в данной статье особое внимание уделяется наборам топографических данных, наборы кадастровых данных, ортофотоснимки и цифровые модели рельефа не рассматриваются. В статье [12] представлены исследования, в которых реализован полностью автоматизированный процесс генерализации топографической карты. Целью исследований было показать, что решение задачи полностью автоматической генерализации технологически возможно. Были разработаны и реализованы операции обобщения,

содержащие соответствующие алгоритмы и значения параметров.

Процесс формализации правил автоматической генерализации осложнен тем, что для большого количества классификационных кодов картографических объектов генерализация выполняется по своим особым правилам (алгоритмам).

В работе рассматривается процесс генерализации дискретных картографических объектов (знаков) планшетов гидрографической съемки. Под дискретным понимается объект цифровой карты, местоположение которого описывается координатами одной точки и имеющий различные пространственно – временные и качественные атрибуты.

### 2. Постановка задачи

Количество дискретных объектов, сохраняемых при генерализации, определяется в соответствии с цензами и нормами отбора (норма представительства) соответствующего масштаба. Цензы отбора определяют объекты, удаляемые с карты, или объекты, обязательно сохраняемые на карте. Нормы отбора определяют количество объектов, сохраняемых на карте (в процентном отношении) в соответствии с густотой объектов исходного материала.

Предложена формальная математическая модель, а также алгоритм отбора дискретных объектов с учетом иерархии приоритетов классификационных кодов (например, опорные пункты имеют более высокий приоритет, чем отметки высот и в иерархии классов занимают более высокий уровень).

Алгоритм осуществляет отбор по графической плотности и близости. Возможно использование дополнительных параметров отбора, настраиваемых в зависимости от типа и классов дискретных объектов (например, для отметок глубин – величина разницы значений глубин).

### 3. Модель операции отбора дискретных объектов с учетом иерархии классов

Пусть  $D = \{d_i\}$  – совокупность дискретных объектов и на  $\{d_i\}$  задано отношение порядка  $P$ , называемое иерархией дискретных объектов со свойствами линейности и транзитивности.

Линейность порядка  $P$  означает, что для любой пары объектов  $d_1$  и  $d_2$  из  $D$  всегда выполняется либо  $d_1 \leq_P d_2$ , либо  $d_2 \leq_P d_1$ .

Транзитивность отношений означает, что если  $d_1 \leq_P d_2$  и  $d_2 \leq_P d_3$ , то  $d_1 \leq_P d_3$ .

Отношение порядка  $P$  на  $\{d_i\}$  индуцирует отношение эквивалентности  $R$ . Объекты  $d_1$  и  $d_2$  считаются эквивалентными (или находятся в отношении эквивалентности), если одновременно выполняется  $d_1 \leq_P d_2$  и  $d_2 \leq_P d_1$ . Отношение эквивалентности определяет разбиение  $D$  на классы эквивалентности  $D_j$ , такое, что:

$$\cup_j D_j = D \text{ и } D_j \cap D_k = \emptyset, \text{ если } j \neq k.$$

Два класса  $D_1$  и  $D_2$  из  $\{D_j\}$  находятся в отношении  $\pi$ , индуцированном отношением  $P$ , если в этих классах можно выбрать по представителю  $\tilde{d} \in D_1$  и  $\tilde{d} \in D_2$  так, что выполнено отношение

$$\tilde{d} \leq_P \tilde{d}.$$

Отношение на множестве классов эквивалентности  $\{D_j\}$ , индуцированное отношением иерархии обладает следующими свойствами:

1) является строгим линейным порядком, то есть для любой пары представителей классов разбиения  $\tilde{d} \in D_1$  и  $\tilde{d} \in D_2$  при  $D_1 = D_2$  выполняется либо  $\tilde{d} \leq_P \tilde{d}$ , либо  $\tilde{d} \leq_P \tilde{d}$ ;

2) во множестве упорядоченных классов нет классов совпадающих ( $D_i \neq D_j$ ).

Обозначим через номер класса  $D = D_{k(i)}$ , для которого  $d_i \in D_{k(i)}$ . Величины расстояний между объектами  $d_i$  и  $d_j$  образуют матрицу расстояний  $\rho_{ij}$ .

Каждой паре объектов  $d_{i_0}$  и  $d_i$  и соответствующим  $D_{k(i_0)}$  и  $D_{k(i)}$  сопоставляется число  $R_{(k(i), k(i_0))}$  и  $\varepsilon$  – окрестность  $\varepsilon_{i_0}$  такая, что

$$\varepsilon_{i_0} = \{t | \rho(t, d_{i_0}) < R_{(k(i), k(i_0))}\},$$

где  $t$  – точки изображения.

Каждому  $d_{i_0}$  и соответствующему  $D_{k(i_0)}$  сопоставляется число  $R_{k(i_0)}$  и  $\varepsilon$  – окрестность  $\varepsilon_{i_0}$  такая, что

$$\varepsilon_{i_0}^* = \{t | \rho(t, d_{i_0}) < R_{k(i_0)}^*\}.$$

Для заданной совокупности дискретных объектов предлагается два формальных критерия отбора с учетом их иерархии: критерий близости и критерий удельной плотности.

### 4. Критерий близости

Критерий близости определяет дискретные объекты, подлежащие исключению в окрестности заданного знака.

Пусть  $i_0$  – текущий номер дискретного объекта, в окрестности которого ведется отбор,  $i$  – текущий номер отбираемых дискретных знаков,  $i \neq i_0$ .  $\varepsilon_{i_0}$  –  $\varepsilon$  – окрестность объекта  $d_{i_0}$ .

Тогда критерий близости формулируется следующим образом. В  $\varepsilon_{i_0}$  объекта  $d_{i_0}$  исключить такие  $d_i \in D_k$ , для которых

$$\rho(i_0, i) < R_{(k(i), k(i_0))}.$$

Упрощением данного критерия является следующий. В  $\varepsilon_{i_0}^*$  исключить все  $d_i \in D_k$ , для которых  $\rho(i_0, i) < R_{k(i_0)}^*$ , где  $R_{k(i_0)}$  не зависит от  $k(i)$ .

### 5. Критерий удельной плотности

Критерий удельной плотности определяет количество дискретных объектов, отбираемых на элементе площади.

Пусть  $i_0$  – текущий номер дискретного объекта, в окрестности которого ведется отбор,  $i$  – текущий номер отбираемых знаков,  $i \neq i_0$ ;  $S_{k(i_0)}$  – элемент площади в окрестности  $d_{i_0} \in D_k$ ;  $T_k$  – число объектов  $k$ -го класса на элементе площади  $S$ ;  $S_{k(i)}$  – элемент площади в окрестности  $d_i \in D_k$ . И дана зависимость удельной плотности от класса отбираемых дискретных объектов:  $T = T(k)$ .

Тогда критерий удельной плотности формулируется следующим образом.

Число объектов  $k$ -го класса на  $S_{k(i)}$  не должно превышать  $T(k)$ :

$$|\{i | i \in S_{k(i)} \cap D_k\}| \leq T(k).$$

Если положить, что для каждого класса объектов  $D_k$  задается значение элемента площади  $S_{k(i)}$ , то критерий удельной площади формулируется следующим образом. Число объектов  $k$ -го класса на элементе площади  $S_{k(i)}$  не должно превышать  $T^*$ :

$$|\{i | i \in S_{k(i)} \cap D_k\}| \leq T^* \text{ при } T(k) \equiv T^*.$$

### 6. Реализация

На основе изложенного подхода разработан и реализован алгоритм генерализации точечных объектов планшетов гидрографической съемки (ПГС). Данный картографический документ является исходным для составления морских карт (навигационных, рельефа морского дна и др.) и, как правило, имеет очень высокую графическую плотность.

Высший приоритет в иерархии классов был присвоен объектам категории "навигационная опасность" (скала, риф, банка, затонувшее судно и др.). Картографические объекты "отметки глубин", как правило, имеют наибольшую графическую плотность на ПГС и подлежат основному отбору. При реализации алгоритма был введен параметр, определяющий дополнительную иерархию объектов внутри данного классификационного кода и выбираемый в зависимости от тематической направленности, формируемой в процессе генерализации карты.

При составлении морских навигационных карт обязательным является требование сохранения минимальных глубин (глубин, меньших и близких к предельно безопасным).

Для карт, отражающих структуру и рельеф морского дна, в целях достоверности градиентов важным является сохранение экстремальных значений глубин.

При составлении карт, предназначенных для реалистической 3D визуализации рельефа морского дна, логично использовать средние значения совокупностей (кластеров) отметок глубин, заменяемых центроидами совокупностей.

Таким образом, в зависимости от параметра, определяющего цель генерализации, объектам одного классификационного кода присваивается либо равный приоритет, либо различные приоритеты, в зависимости от значений атрибута. При наличии иерархии объектов внутри одного классификационного кода, осуществляется предварительная сортировка объектов по значению определяющего приоритет атрибута.

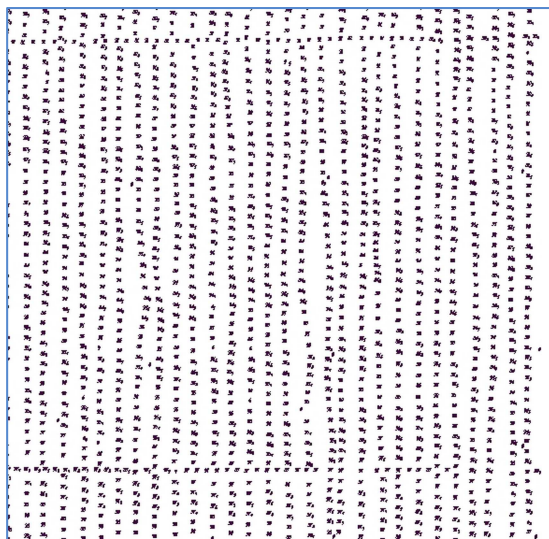


Рис. 1. Фрагмент исходного ПГС.

Процесс отбора объектов, основанный на критериях близости и удельной плотности, осуществляется последовательно от высших классов к низшим с учетом внутренней иерархии каждого классификационного кода.

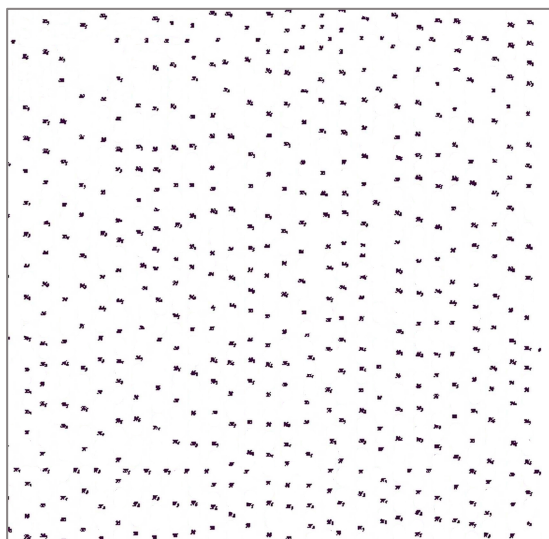


Рис. 2. Результат генерализации с сохранением минимальных глубин.

На рис.1. приведен фрагмент планшета гидрографической съемки. На рис. 2. представлен тот же фрагмент результата генерализации с приоритетом меньших глубин и заданным порогом минимальной разницы значений глубин.

## 7. Заключение

Введение гибкой системы приоритетов – как классификационных кодов, так и объектов внутри классов – позволяет повысить качество генерализации с учетом тематики результирующей карты. Однако приемлемость получаемого результата определяется пока экспертом. Дальнейшие исследования планируется направить на разработку критериев и методов автоматической оценки качества генерализации.

## 8. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №16-07-01198А, №16-07-1214А).

## 9. Литература

- [1] Берлянт А.М. Теория геоизображений. – М.: ГЕОС, 2006. – 262 с.
- [2] Гук, А. П. Проблемы автоматической генерализации при тематическом картографировании в среде ГИС / А. П. Гук, С. С. Дышлок, А. Б. Женибекова // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 97–100.
- [3] Лурье И.К., Самсонов Т.Е. Структура и содержание базы пространственных данных для мультимасштабного картографирования // Геодезия и картография — 2010, №11. – с. 17–23.
- [4] Самсонов Т.Е. Мультимасштабное картографирование — новое направление картографии / Современная географическая картография / Под ред. И.К. Лурье и В.И. Кравцовой. М.: Дата+, 2012. с. 21-35.
- [5] Свентэк, Ю. В. Теоретические и прикладные аспекты современной картографии / Ю.В. Свентэк; МГУ им. М.В.Ломоносова. - М. : ЭДИТОРИАЛ УРСС, 1999. - 80с.
- [6] Buttenfield В. Research Initiative 3: Multiple Representations. Closing Report, National Center for Geographic Information and Analysis, Buffalo, 1993.
- [7] Douglas D. H., Peucker T. K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. // The Canadian Cartographer, 10 (2), 1973, pp. 112–122.
- [8] Foerster, T, J Stoter, and B Köbben Towards a Formal Classification of Generalization Operators. In: Proceedings of the 23th International Cartographic Conference. Moscow, Russia, 2007.
- [9] Foerster Theodor, Jantien Stoter and Menno-Jan Kraak Challenges for Automated Generalisation at European Mapping Agencies: A Qualitative and Quantitative Analysis / The Cartographic Journal Vol. 47 No. 1 pp. 41–54 February 2010
- [10] McMaster R.B., Shea K.S. Generalization in Digital Cartography. — Association of American Cartographers, Washington, DC, 1992.
- [11] Marble D. Geographic Information Systems: an overview // Proceedings of Pecora 9, Sioux Falls, SD, 1984, pp 18–24.
- [12] Stotera Jantien, Marc Postb, Vincent van Altenab, Ron Nijhuisb and Ben Brunsb Fully automated generalization of a 1:50k map from 1:10k data / Cartography and Geographic Information Science, 2014, Vol. 41, No. 1, 1–13.
- [13] Tobler W. R. Numerical map generalization. Michigan Inter-University Community of mathematical Geographers Discussion Paper 8. — Dept. of Geography, University of Michigan, An Arbor, MI, USA, 1966.

## Об авторах

Никита Сергеевич Пономарев – студент 2 курса магистратуры ИИТММ ННГУ им. Н.И. Лобачевского  
Алексей Сергеевич Тарасенко – студент 2 курса магистратуры ИИТММ ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Тамара Шатовна Утешева – ведущий научный сотрудник ЦИИИТ ИИТММ ННГУ им. Н.И. Лобачевского.