

Геоинформатика. 2021. № 4. С. 28–34.  
*Geoinformatika*. 2021;(4):28–34.

### Применение ГИС-технологий

Научная статья

УДК 004.021

<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2021-4-28-34>

## Абстрактные пространственные структуры из точечных объектов и их применение в геоинформатике

© 2021 г. — Сергей Владимирович Еремеев

Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»; Муром, Владимирская область, Россия; sv-eremeev@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема формирования абстрактных пространственных структур, а также взаиморасположение между этими структурами. Показаны два алгоритма для построения абстрактных данных и их влияние на топологические отношения между полученными объектами в виде отдельных кластеров. Первый из них основан на критерии минимального расстояния между точками, а второй использует информацию о векторах, полученных из точек, и углах между ними. Продемонстрировано практическое применение абстрактных структур в геоинформатике в виде анализа топологии между сформированными объектами.

**Ключевые слова:** *абстрактные пространственные структуры, топологические отношения, точечные объекты*

*Для цитирования:* Еремеев С.В. Абстрактные пространственные структуры из точечных объектов и их применение в геоинформатике // Геоинформатика. — 2021. — № 4. — С. 28–34. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2021-4-28-34>.

### Application of GIS-technologies

Original article

## Abstract spatial structures of point objects and their application in geoinformatics

© 2021 — Sergey V. Ereemeev

Murom Institute (branch), Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs; Murom, Vladimirskaya reg., Russia; sv-eremeev@yandex.ru

**Abstract.** The problem of the formation of abstract spatial structures and their location is considered in the article. Two algorithms for constructing abstract data and their influence on the topological relationships between the obtained objects in the form of separate clusters are shown. The first algorithm is based on the criterion of the minimum distance between points. The second algorithm uses information about vectors obtained from points and the angles between them. The practical application of abstract structures in geoinformatics for the analysis of topology between formed objects is demonstrated.

**Key words:** *abstract spatial structures, topological relations, point objects*

*For citation:* Ereemeev S.V. Abstract spatial structures of point objects and their application in geoinformatics. *Geoinformatika*. 2021;(4):28–34. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2021-4-28-34>. In Russ.

### Введение

Пространственные объекты на векторной карте имеют различные типы данных для их представления [1–3]. В основном, это точечные, линейные, полигональные объекты, а также более сложные, включая сплайны, TIN (Triangulated Irregular Network) и 3D модели.

В работе будем рассматривать точечные объекты. С ростом геоинформационных меток увеличивается объем точечных данных. Эти метки о местоположении объекта могут быть созданы с помощью мобильных устройств, с использованием беспилотных летательных аппаратов, отмечены вручную на статической карте и т.д. Также на картах существует достаточно много точечных объектов. Причем часто бывает так, что с уменьшением деталей карты на одном масштабе объект сначала представляет

собой полигональный объект, а на другом уже в виде точки.

В итоге из разных источников получается набор топологически несвязанных между собой данных, но визуально образующих некоторые структуры. Такие структуры будем называть абстрактными структурами из пространственных точечных объектов.

По сути, имеем конечное множество точечных объектов  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , которые необходимо сгруппировать в абстрактные структуры  $S_1, S_2, \dots, S_m$  так, что каждая точка  $x \in X$  относится только к одной из структур  $S_p$ , где  $p \in \{1, 2, \dots, m\}$ .

Существуют различные подходы, которые разбивают исходный набор точек на непересекающиеся наборы. Наиболее популярными являются следующие методы кластеризации: иерархический,

k-средних, с-средних, алгоритмы на основе теории графов.

Алгоритмы иерархической кластеризации [4] позволяют представить исходный набор точек в виде древовидной структуры, где на нижнем уровне располагаются наиболее мелкие кластеры, а на верхнем — все вместе сгруппированные точки. Алгоритм k-средних [5] позволяет сформировать заранее заданное число кластеров. Однако не всегда известно наперед количество кластеров из исходного набора точек. Алгоритм с-средних [6] основан на нечеткой логике и позволяет точке принадлежать сразу нескольким кластерам. Алгоритмы на основе теории графов [7], включая выделение связных компонент, построение минимального остовного дерева, используют точки как вершины, а ребрами являются расстояния между точками.

Однако, в данной работе помимо формирования абстрактных структур предлагается провести еще анализ взаимного расположения этих структур относительно друг друга. В зависимости от критерия образования новых объектов из точечных данных это расположение может сильно отличаться. А это, в свою очередь, будет влиять на тип топологического отношения между абстрактными структурами. Т.е. в зависимости от выбранного алгоритма кластеризации точечных данных могут быть получены разные топологические отношения между объектами.

Зачастую, в геоинформатике используются следующие наиболее известные типы топологических отношений [8]: пересечение и вложенность. Именно эти типы будут проанализированы при расположении абстрактных пространственных структур на карте.

Цель статьи заключается в исследовании влияния различных способов формирования абстрактных пространственных структур на топологические отношения между ними.

### Формирование абстрактных пространственных структур

Рассмотрим два алгоритма создания абстрактных структур из точечных объектов. Первый алгоритм основан на критерии минимального расстояния между точечными объектами. Вторым алгоритм использует информацию о векторах, которые образованы из точек.

### Алгоритм построения абстрактных структур на основе критерия минимального расстояния между точками (Алгоритм 1)

Алгоритм 1 состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Алгоритм начинается с нахождения расстояний между всеми парами точек.

Шаг 2. Соединяем две ближайшие точки.

Шаг 3. Выбираем из них первую точку  $x_{first}$ , которая будет являться началом новой абстрактной структуры.

Шаг 4. Перебираем все расстояния между точками в порядке возрастания. Если есть возможность соединения двух точек, то соединяем их. Если у одной из двух рассматриваемых точек в паре уже есть два ребра, то пропускаем соединение и переходим к следующему расстоянию. Если соединение происходит с  $x_{first}$ , то образовалась новая структура. Далее берем точку, которая пока не входит в состав какой-либо структуры и запоминаем ее снова как первую точку, которая будет являться началом очередной структуры. Если все точки рассмотрены, то завершаем работу алгоритма.

На рис. 1 показан итерационный процесс рассматриваемого алгоритма.

В итоге из исходного множества точек сформированы три структуры в виде трех треугольников.

Плюсы данного алгоритма заключаются в простоте реализации и небольшом количестве вычислений. Минусом можно считать то, что алгоритм при сложном наборе данных не всегда корректно строит абстрактные структуры.

### Алгоритм построения абстрактных структур на основе векторной информации (Алгоритм 2)

Рассмотрим теперь алгоритм, который строит вектора между точками и анализирует информацию об углах между этими векторами, а также о длинах векторов. Алгоритм 2 включает следующие шаги:

Шаг 1. Соединяем две ближайшие точки.

Шаг 2. Первая точка будет  $x_{first}$ , а вторая — текущая.

Шаг 3. От текущей точки находим точку с минимальным коэффициентом  $k$ , который рассчитывается по следующей формуле:

$$k = C \cdot d \cdot 2^{angle}$$

где  $C = const$  — некоторая постоянная величина для регулирования влияния параметра  $d$ ,  $C \in (0, 1]$ ,

$d$  — отношение максимальной длины из двух векторов  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$  к их минимальной длине,

$angle$  — угол между векторами  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$ , измеряемый в радианах.

В свою очередь, для вычисления параметра  $d$  применяем следующее выражение:

$$d = \frac{\max(|\vec{v}_1|, |\vec{v}_2|)}{\min(|\vec{v}_1|, |\vec{v}_2|)}$$

где  $\vec{v}_1$  — вектор, направленный от текущей точки к предыдущей,

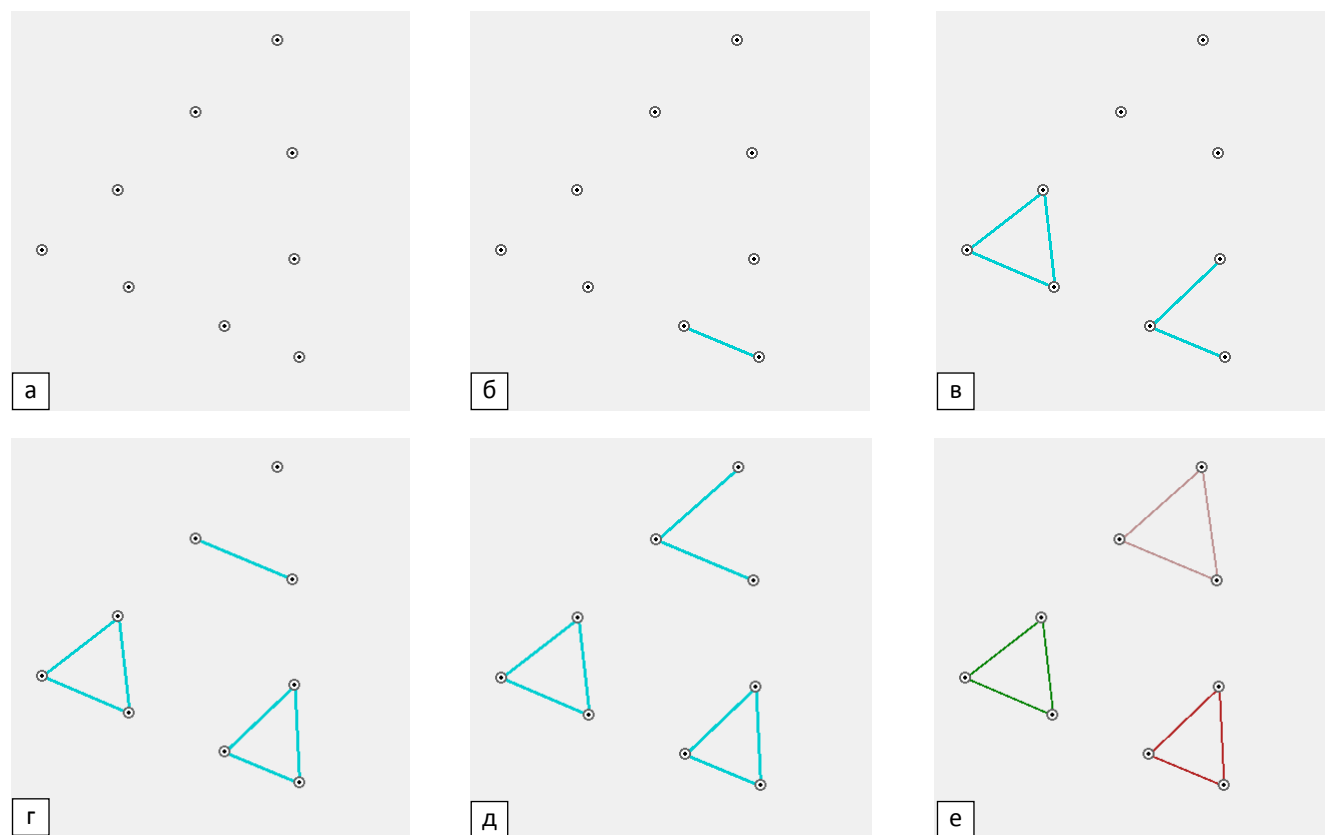
$\vec{v}_2$  — вектор, направленный от текущей точки к рассматриваемой,

$|\vec{v}_1|$  — длина вектора  $\vec{v}_1$ ,

$|\vec{v}_2|$  — длина вектора  $\vec{v}_2$ .

**Рис. 1.** Итерационный процесс формирования абстрактных пространственных структур по Алгоритму 1 на основе критерия минимального расстояния между точками

*Fig. 1. Iterative process of forming abstract spatial structures according to Algorithm 1 based on the criterion of minimum distance between points*



Параметр *angle* вычисляется по формуле:

$$angle = \pi - \arccos\left(\frac{\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2}{|\vec{v}_1| \cdot |\vec{v}_2|}\right),$$

где  $\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2$  — скалярное произведение векторов.

Шаг 4. Каждый полученный коэффициент привязывается к той точке, с которой связан соответствующий вектор. Также дополнительно, если разница в длине одного из векторов превышает более чем в 1,75 раза, то данный вектор исключается из возможных соединений. Это позволит лучше выделять абстрактные структуры. Без данного ограничения такие структуры пытаются объединяться в одну структуру, имея при этом менее ровную форму, либо структуры получаются чрезмерно вытянутыми. Если нет данного превышения, то соединяем две точки, иначе нужно будет отменить предыдущее соединение и рекурсивно вернуться назад для поиска лучшего соединения.

Шаг 5. Текущей становится новая точка и повторяем процесс с шага 3.

Шаг 6. Если соединение происходит с  $\chi_{first}$ , то образовалась новая структура.

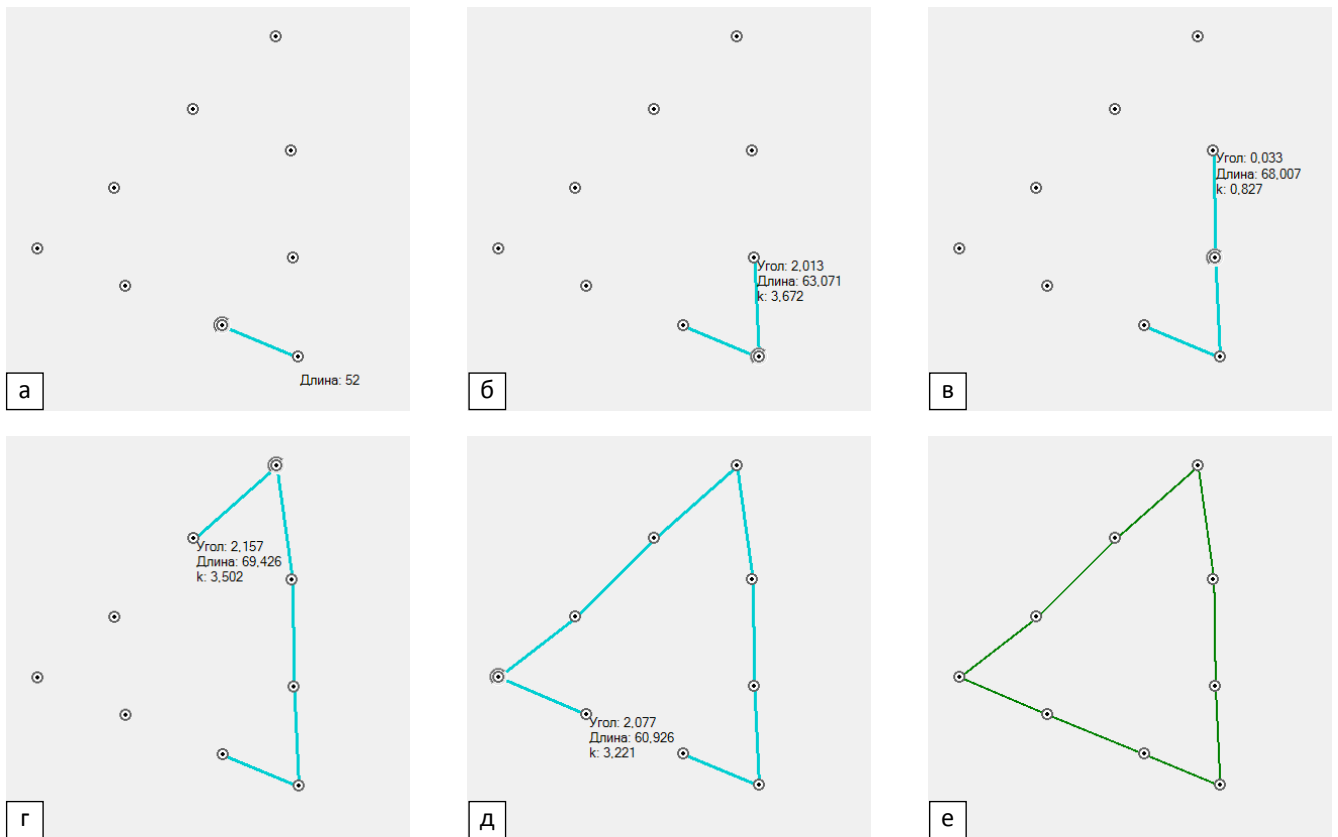
Шаг 7. Если еще есть точки, которые не имеют соединений, то переходим к шагу 2 для формирования новых структур.

На рис. 2 показан итерационный процесс формирования абстрактных пространственных структур на основе информации о векторах.

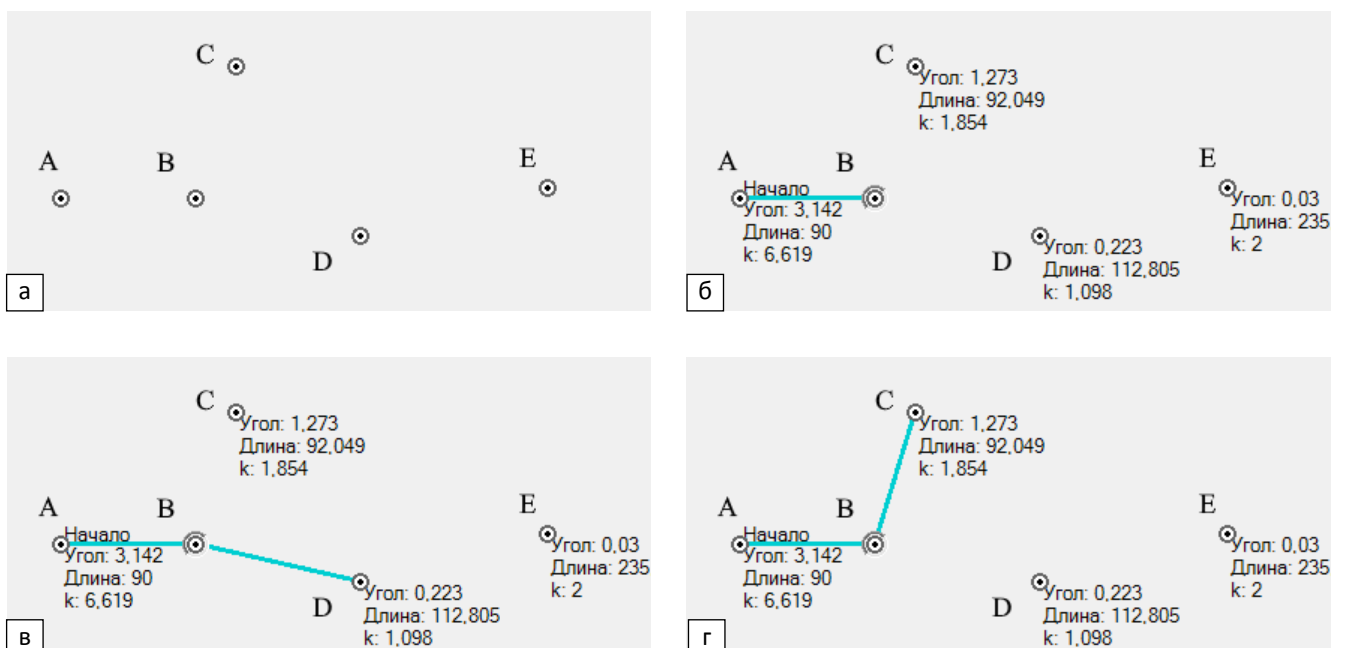
В результате работы алгоритма получена одна абстрактная пространственная структура в виде треугольника. Результат несколько напоминает вычисление выпуклой оболочки из точек, но будет иметь принципиальное отличие при обнаружении нескольких структур.

Покажем теперь различие двух алгоритмов при выборе очередной точки (рис. 3). В данном примере после того как соединились две ближайшие точки *A* и *B* (рис. 3б), Алгоритм 2 должен выбрать следующую точку для соединения. На этом рисунке отображена дополнительная информация, включая угловое отклонение в радианах, расстояние между точками и коэффициент по отношению к текущей точке *B*. Точка *E* имеет наименьшее угловое отклонение, однако имеет наибольший коэффициент *k* между векторами *BA* и *BE* по сравнению с другими точками. При этом точка *C* имеет большое угловое отклонение. Точка *D* из всех возможных вариантов имеет наиболее оптимальное соотношение коэффициентов. Именно поэтому текущая точка *B* будет соединена с точкой *D* (рис. 3в).

**Рис. 2.** Итерационный процесс формирования абстрактных пространственных структур по Алгоритму 2 на основе информации об углах и длинах векторов, величина  $C = 0,75$   
*Fig. 2. Iterative process of forming abstract spatial structures according to Algorithm 2 based on information about the angles and lengths of vectors,  $C = 0,75$*



**Рис. 3.** Выбор очередной точки: исходное множество точек (а), начальное соединение двух точек (б), соединение по Алгоритму 2 (в), соединение по Алгоритму 1 (г)  
*Fig. 3. Choosing the next point: the initial set of points (a), the initial connection of two points (b), the connection according to Algorithm 2 (v), the connection according to Algorithm 1 (z)*



По Алгоритму 1 точка  $B$  соединилась бы с точкой  $C$  (рис. 3г), т.к. в данном алгоритме учитываются только расстояния между точками.

Соединение с точкой  $D$  делает структуру более ровной и позволит избежать ситуаций резкого перехода между отрезками.

Плюс Алгоритма 2 заключается в том, что он стремится к созданию более ровных структур, учитывая несколько различных параметров. Минусом можно считать сложность реализации и возможные большие затраты времени на рекурсивное выполнение алгоритма.

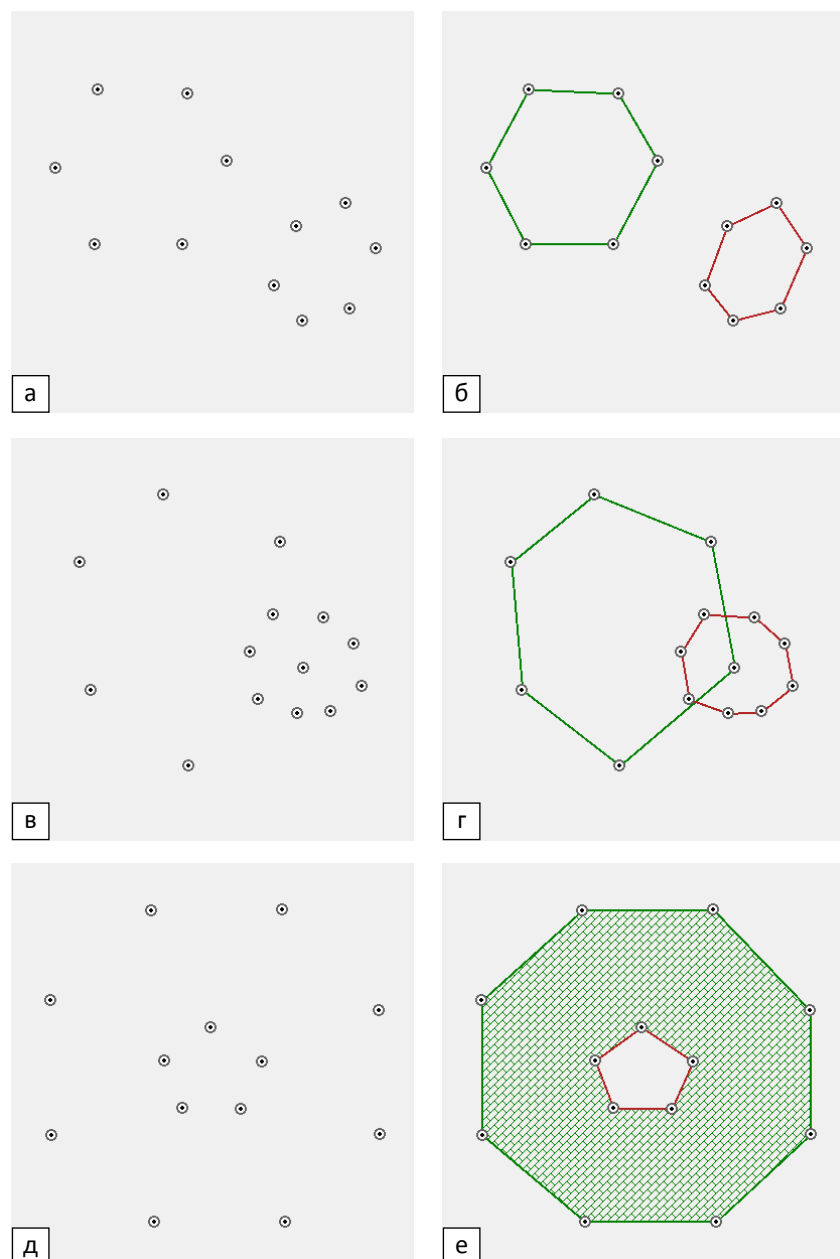
### Топологические отношения между абстрактными структурами

После того, как были сформированы абстрактные структуры, можно провести анализ на их взаимо-

расположение относительно друг друга. Т.е. вычислить, в каком топологическом отношении находятся эти объекты.

На рис. 4 покажем примеры возможных абстрактных структур, полученных из точечных объектов, и тип топологического отношения между ними.

Исследуем теперь, как влияет выбранный алгоритм для формирования абстрактных структур на тип топологических отношений между новыми полученными объектами. На рис. 5а показан исходный набор несвязанных между собой точечных объектов. Рис. 5б демонстрирует, как связаны между собой абстрактные структуры после применения Алгоритма 1 на основе минимального расстояния, а рис. 5в отражает топологические связи при Алгоритме 2 на основе векторной информации.

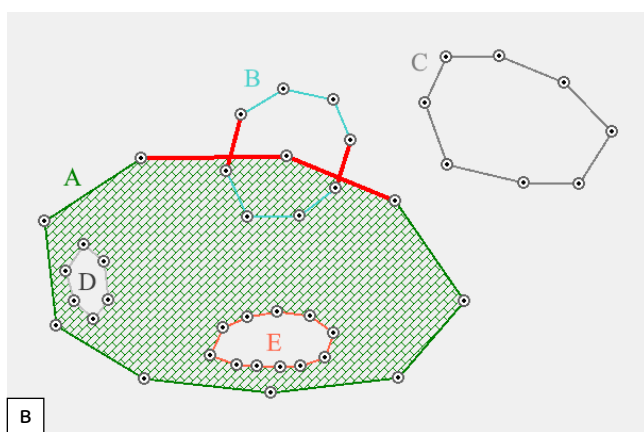
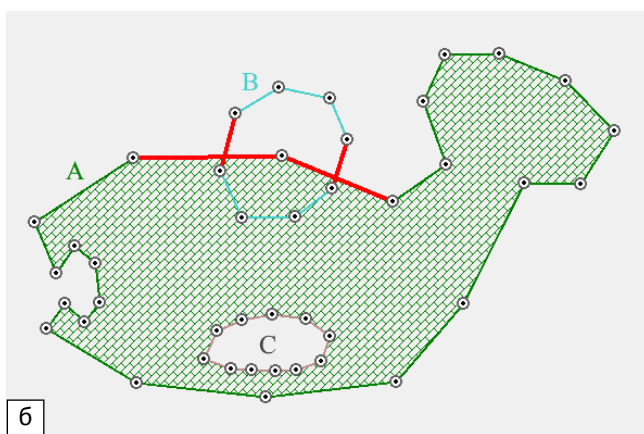
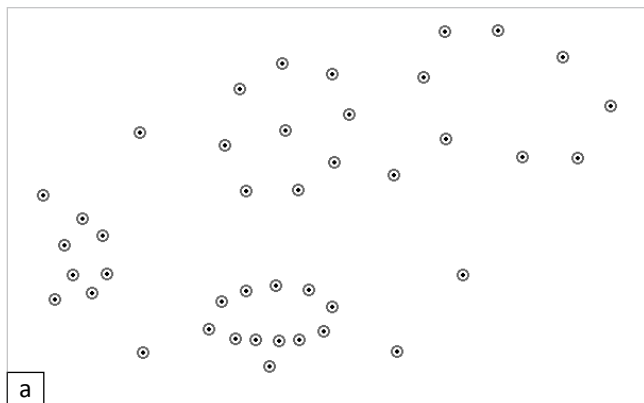


**Рис. 4.** Наборы точечных объектов (а, в, д) и топологические отношения между абстрактными структурами: отсутствие отношений (б), пересечение (г) и вложенность (е)

*Fig. 4. Sets of point objects (a, v, d) and topological relations between abstract structures: disjointness (б), intersection (г) and containment (е)*

**Рис. 5.** Топологические отношения между абстрактными структурами: исходный набор точек (а), результат работы Алгоритма 1 (б), результат работы Алгоритма 2 (в)

Fig. 5. Topological relations between abstract structures: the initial set of points (a), the result of Algorithm 1 (b), the result of Algorithm 2 (v)



Заметим, что при разных алгоритмах некоторые типы топологических отношений между объектами являются одинаковыми, но есть и существенные отличия.

Общая информация о взаиморасположении абстрактных структур обоими алгоритмами сведена в таблицы 1 и 2.

Таблицы 1 и 2 содержат информацию о количестве топологических связей между объектами и сами объекты.

**Табл. 1.** Топологические отношения между абстрактными структурами по Алгоритму 1 (рис. 5б)

Tab. 1. Topological relations between abstract structures according to Algorithm 1 (fig. 5b)

Абстрактная структура	Отсутствие отношений	Пересечение	Вложенность «внутри»	Вложенность «снаружи»
A	0	1 (B)	1 (C)	0
B	1 (C)	1 (A)	0	0
C	1 (B)	0	0	1 (A)

**Табл. 2.** Топологические отношения между абстрактными структурами по Алгоритму 2 (рис. 5в)

Tab. 2. Topological relations between abstract structures according to Algorithm 2 (fig. 5v)

Абстрактная структура	Отсутствие отношений	Пересечение	Вложенность «внутри»	Вложенность «снаружи»
A	1 (C)	1 (B)	2 (D, E)	0
B	3 (C, D, E)	1 (A)	0	0
C	4 (A, B, D, E)	0	0	0
D	3 (B, C, E)	0	0	1 (A)
E	3 (B, C, D)	0	0	1 (A)

Анализ таблиц 1 и 2 показывает, что в обоих случаях обнаружилось отношения пересечения и вложенности. Однако по Алгоритму 2 выделена дополнительная структура D внутри структуры A. Кроме того, во втором случае сформировалось 5 структур, что отражает более оптимальное расположение объектов. Данный пример довольно хорошо демонстрирует разницу результатов обоих алгоритмов.

### Заключение

В статье предложены два алгоритма для формирования абстрактных структур из точечных объектов. Проведено исследование влияния каждого из алгоритмов на взаиморасположение полученных объектов. Первый алгоритм основан на анализе упорядоченных по возрастанию расстояний между точками. Второй алгоритм рассматривает пары векторов, сформированные из точек, и выбирает наименьшее значение коэффициента, содержащий информацию об углах и длинах этих векторов. На примерах показано, что второй алгоритм строит более оптимальные и ровные структуры. Продемонстрировано практическое применение разработанных алгоритмов для анализа топологических отношений, которые являются неотъемлемой частью современных геоинформационных систем. Предложенные подходы могут быть использованы для анализа топологических отношений из слабосвязанной пространственной информации на мультимасштабных и мультитемпоральных картах, а также для анализа геометок на мобильных устройствах.

## Список источников

1. Еремеев С.В., Андрианов Д.Е., Титов В.С. Алгоритм совмещения пространственных объектов разномасштабных карт на основе топологического анализа данных // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43. – № 6. – С. 1021–1029. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-6-1021-1029.
2. Еремеев С.В. Абакумов А.В. Программный комплекс для обнаружения и классификации природных объектов на основе топологического анализа // Программные продукты и системы. – 2021. – Т. 34. – № 1. – С. 201–208. DOI: 10.15827/0236-235X.133.005-018.
3. Еремеев С.В., Андрианов Д.Е., Ковалев Ю.А. Алгоритм идентификации временных эволюций пространственно-распределенных объектов на основе Баркодов // Геоинформатика. – 2018. – № 4. – С. 23–29.
4. Пестунов И.А., Рылов С.А., Бериков В.Б. Иерархические алгоритмы кластеризации для сегментации мультиспектральных изображений // Автометрия. – 2015. – Т. 51. – № 4. – С. 12–22.
5. Зимичев Е.А., Казанский Н.Л., Серафимович П.Г. Пространственная классификация гиперспектральных изображений с использованием метода кластеризации k-means++ // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38. – № 2. – С. 281–286. DOI: 10.18287/0134-2452-2014-38-2-281-286.
6. Guo Y., Liu K., Wu Q., Hong Q., Zhang H. A New Spatial Fuzzy C-Means for Spatial Clustering // WSEAS Transactions on Computers. – 2015. – Vol. 14. – pp. 369–381.
7. Aksac A., Özyer T., Alhajj R. CutESC: cutting edge spatial clustering technique based on proximity graphs // Pattern Recognition. – 2019. – Vol. 96. – 106948. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2019.06.014>.
8. Alexeev V.V., Bogaevskaya V.G., Preobrazhenskaya M.M., Ukhalov A.Yu., Edelsbrunner H., Yakimova O.P. An algorithm for cartographic generalization that preserves global topology // Journal of Mathematical Sciences. – 2014. – Vol. 203. – №6. – pp. 754–760.

## References

1. Eremeev S.V., Andrianov D.E., Titov V.S. An algorithm for matching spatial objects of different-scale maps based on topological data analysis. *Computer Optics*. 2019;43(6):1021–1029. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-6-1021-1029.
2. Eremeev S.V., Abakumov A.V. Software complex for detection and classification of natural objects based on topological analysis. *Software & Systems*. 2021;34(2):201–208. DOI: 10.15827/0236-235X.133.005-018.
3. Eremeev S.V., Andrianov D.E., Kovalev Y.A. Algorithm for the identification of time evolutions of spatially distributed objects based on Barcodes. *Geoinformatika*. 2018;4:23–29.
4. Pestunov I.A., Rylov S.A., Berikov V.B. Hierarchical clustering algorithms for segmentation of multispectral images. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. 2015;51(4):329–338. DOI: 10.3103/S8756699015040020.
5. Zimichev E.A., Kazanskiy N.L., Serafimovich P.G. Spectral-spatial classification with k-means++ partitional clustering. *Computer Optics*. 2014;38(2):281–286. DOI: 10.18287/0134-2452-2014-38-2-281-286.
6. Guo Y., Liu K., Wu Q., Hong Q., Zhang H. A New Spatial Fuzzy C-Means for Spatial Clustering. *WSEAS Transactions on Computers*. 2015;14:369–381.
7. Aksac A., Özyer T., Alhajj R. CutESC: cutting edge spatial clustering technique based on proximity graphs. *Pattern Recognition*. 2019;96:106948. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2019.06.014>.
8. Alexeev V.V., Bogaevskaya V.G., Preobrazhenskaya M.M., Ukhalov A.Yu., Edelsbrunner H., Yakimova O.P. An algorithm for cartographic generalization that preserves global topology. *Journal of Mathematical Sciences*. 2014;203(6):754–760.

Статья поступила в редакцию 20.12.2021, одобрена после рецензирования 22.12.2021, принята к публикации 23.12.2021.  
The article was submitted 20.12.2021; approved after reviewing 22.12.2021; accepted for publication 23.12.2021.

## Информация об авторе

## Еремеев Сергей Владимирович

Кандидат технических наук

Доцент кафедры «Информационные системы»  
Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский  
государственный университет имени Александра  
Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»,  
602264 Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: sv-eremeev@yandex.ru

## Information about the author

## Sergey V. Eremeev

Candidate of Technical Sciences

Associate Professor at the Department "Information systems" of  
Murom Institute (branch), Vladimir State University named after  
Alexander and Nikolay Stoletovs  
23 Orlovskaya Str., Murom, Vladimirskaia reg., 602264, Russia  
e-mail: sv-eremeev@yandex.ru