

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 528.721.221.6

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-75-80

Обзорная статья / Review article

**Применение существующих алгоритмов по классификации
и кластеризации точек лазерного отражения (k-Means, DBSCAN, SVM)
для решения задач территориального планирования**

Д.А. Гура, О.С. Болтовнина

Кубанский государственный технологический университет,
350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2., Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является обобщение опыта применения и раскрытие особенностей методов классификации и кластеризации изображений, полученных путем лазерного сканирования. **Метод.** Исследование основано на применении алгоритмов распознавания, кластеризации и классификации данных. **Результат.** Проведен краткий обзор имеющихся алгоритмов, используемых для кластеризации изображений, полученных путем лазерного сканирования. Показана возможность использования последовательно алгоритмов K-means и DBSCAN для осуществления кластеризации в отношении объектов различной формы. Проанализированы возможности использования алгоритмов по классификации и кластеризации точек лазерного отражения (k-Means, DBSCAN, SVM) в рамках решения задач территориального планирования. **Вывод.** Применение представленных алгоритмов позволяет сформировать массивы данных, которые при наложении друг на друга позволяют получить еще более точные отображения объектов и территорий в документах территориального планирования, а в перспективе на основе применения методов машинного обучения и обработки матриц данных, имеющихся в памяти, получать более точные сведения об объектах на местности.

Ключевые слова: территориальное планирование, K-means, DBSCAN кластеризация, классификация, облако точек, лазерное сканирование

Для цитирования: Д.А. Гура, О.С. Болтовнина. Применение существующих алгоритмов по классификации и кластеризации точек лазерного отражения (k-Means, DBSCAN, SVM) для решения задач территориального планирования. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(1):75-80. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-75-80

Application of existing algorithms for classification and clustering of laser reflection points (k-Means, DBSCAN, SVM) to solve territorial planning problems

D.A. Gura, O.S. Boltovnina

Kuban State Technological University,
2 Moskovskaya St., Krasnodar 350072, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to generalize the experience of using and reveal the features of methods for classifying and clustering images obtained by laser scanning. **Method.** The study is based on the use of algorithms for recognition, clustering and classification of data obtained using laser scanning. **Result.** A brief review of existing algorithms used for clustering images obtained by laser scanning has been carried out. The possibility of using sequentially the K-means and DBSCAN algorithms for clustering in relation to objects of various shapes is shown. The possibilities of using algorithms for the classification and clustering of laser reflection points (k-Means, DBSCAN, SVM) in the framework of solving territorial planning problems are analyzed. **Conclusion.** The use of the presented algorithms makes it possible to form data arrays that, when superimposed on each other subsequently and further processed, make it possible to obtain even more accurate representations of objects and territories in territo-

rial planning documents, and in the future, based on the use of machine learning methods and processing of data matrices available in memory, get more accurate information about objects on the ground.

Keywords: territorial planning, K-means, DBSCAN clustering, classification, point cloud, laser scanning

For citation: D.A. Gura, O.S. Boltovnina. Application of existing algorithms for classification and clustering of laser reflection points (k-Means, DBSCAN, SVM) to solve territorial planning problems. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50 (1): 75-80. DOI: 10.21822 /2073-6185-2023-50-1-75-80

Введение. Распознавание пространственных данных в автоматическом режиме на современном этапе используется во многих областях деятельности. В рамках территориального планирования, формирования правил землепользования и застройки, планирования размещения территориальных зон различного типа распознавание пространственных данных, в первую очередь, полученных при помощи лазерного сканирования съемок земной поверхности и подземных сооружений, позволяет сформировать общий план развития территории, наличия на ней объектов капитального строительства, некапитальных объектов, линейных объектов, в том числе, с учетом их технического состояния.

В то же время, в современных условиях большое значение имеет максимальная точность распознавания объектов, которые имеют различную форму. Методы лазерного сканирования, и в особенности распознавания его результатов на основе распознавания точек, могут существенно отличаться, а их выбор требует индивидуального подхода, исходя из поставленных задач. Эффективность решения этих задач определяется тем, насколько адекватно подобраны методы распознавания изображений в рамках обработки полученных данных лазерного сканирования.

В рамках территориального планирования это особенно актуально, поскольку различные территориальные зоны (например, водоохранные зоны, зоны объектов газопровода и др.), а также территории с разным видом грунтов (болота, пески и др.) могут иметь достаточно различную форму. Это относится и к объектам капитального строительства, например, жилым домам. В соответствующих условиях особенно актуально применение алгоритмов распознавания, классификации и кластеризации изображений, полученных средствами лазерного сканирования – лазерных облаков точек.

Алгоритмы кластеризации пространственных данных различаются по степени точности и функционалу. Так, метод опорных векторов (Support Vector Machines, SVM) является линейным алгоритмом, принцип работы которого – создавать линию или плоскость, разделяющую данные на классы. Данный алгоритм имеет весьма широкое применение на практике. В рамках территориального планирования показана эффективность его использования в рамках оценки технического состояния и соответственно планирования размещения, реконструкции и капитального ремонта линейных объектов – асфальтовых и железных дорог, мостов, трубопроводов, теплотрасс.

Более широким функционалом и сложной системой работы обладает алгоритм DBSCAN, который представляет собой плотностный алгоритм, позволяющий осуществлять кластеризацию пространственных данных при наличии фоновых точек («шума») [2]. Особенность алгоритма DBSCAN в том, что он позволяет разбивать облако точек на кластеры произвольной формы. Большинство иных алгоритмов создают кластеры сферической формы, так как минимизируют расстояние от точки до центра создаваемого кластера. В то время как при использовании алгоритма DBSCAN существует возможность распознавать кластеры разной формы.

K-means также позволяет распознавать и формировать кластеры разной формы, однако он имеет значительно более низкую вычислительную сложность, то есть позволяет наметить общие контуры кластеров без достаточной детализации распознаваемых объектов. Это достаточно актуально в рамках территориального планирования, поскольку несо-

ответствие реальной ситуации на местности (наличие зон с особыми условиями использования территорий, зон, для которых не разрабатываются градостроительные регламенты, опасных зон и др.) и сведений, содержащихся в кадастровом деле, повлекло проблемы в области регистрации недвижимости, которая была признана самовольной постройкой.

В кадастровое дело в обязательном порядке вносятся и сведения об ограничении оборотоспособности земельных участков и ограничении прав собственника, так как эти сведения впоследствии содержатся в кадастровом паспорте, градостроительном плане земельного участка и выписке из ЕГРН, предоставляемых заинтересованным лицам. В тех случаях, когда государство вводит ограничения прав собственника на его земельный участок, эти ограничения вносят в Единый государственный реестр прав на недвижимое имущество и сделок с ним. После регистрации ограничения права на тот или иной земельный участок, оно принадлежит данной территории, и при отчуждении земельного участка, продаже или дарении остается действующим для данной земли. Некорректное отображение объектов в документах территориального планирования может повлечь неправомерное ограничение прав собственников и землепользователей.

Постановка задачи. Согласно ч. 2 ст. 57.3 ГрК РФ, источниками информации для составления градостроительного плана земельного участка, который является основной «картографической» частью кадастрового дела, выступают основные сведения из ЕГРН, сведения, содержащиеся в Генеральном плане соответствующей территории и правилах землепользования и застройки. Вопросы территориального планирования, в первую очередь, возникают в рамках общих проблем ведения земельного кадастра. В первую очередь, это проблема недостаточно полных сведений в земельном кадастре, ведение которого начато только в 2001 году. Первые сведения, внесенные в кадастр, описывали земельные участки и их границы достаточно некорректно.

Это обуславливает актуальность использования алгоритмов кластеризации данных, полученных при лазерном сканировании земной поверхности и объектов. В этом отношении актуально применение нескольких алгоритмов одновременно.

Методы исследования. Трехмерное лазерное сканирование, результаты которого распознаются с использованием методов глубинного машинного обучения, позволяет более детально отображать те объекты, которые представлены на лазерных снимках в виде облаков точек (геометрических мест точек), поскольку использование вектора распознавания, а равно и его учет дает более точное представление о форме, размерах, плотности отображаемого предмета [14]. Однако соответствующие возможности лазерного сканирования в значительной степени зависят от применяемых методов обработки, полученных с его помощью изображений. В связи с этим, сегодня большое значение на практике придается разработке алгоритмов классификации и кластеризации объектов, полученных при лазерном сканировании.

K-means и DBSCAN позволяют эффективно осуществить кластеризацию в отношении объектов различной формы – не только сферической, но и линейной, а также объектов неправильной формы, что обуславливает актуальность их использования при распознавании данных снимков земной поверхности, необходимых для формирования и корректировки документов территориального планирования. Алгоритм K-means менее точен в части отображения данных, чем DBSCAN, в связи с чем, первый актуально применять в рамках распознавания данных имеющих круглую сферическую форму. K-means позволяет работать с большим числом данных, что позволяет в целом определить наличие будущих кластеров, их местоположение, расстояние между ними. В рамках территориального планирования это предполагает возможность наметить общие особенности расположения объектов на местности, сформировать общее представление об объектах территориального планирования, но не детализировать их. Это требует применения дополнительных алгоритмов для большей детализации изображений.

Рассмотрим пример использования алгоритмов DBSCAN и K-means для распознавания объектов различной формы. По рис. 1 можно отметить, что второй набор данных

имеет более сложную форму, чем первый. DBSCAN работает значительно медленнее, чем K-means и не позволяет обрабатывать большое число данных. В связи с этим, для ускорения кластеризации актуально применять алгоритм DBSCAN после применения K-means к распознанному предварительно данным, на основе которых сформированы кластеры.

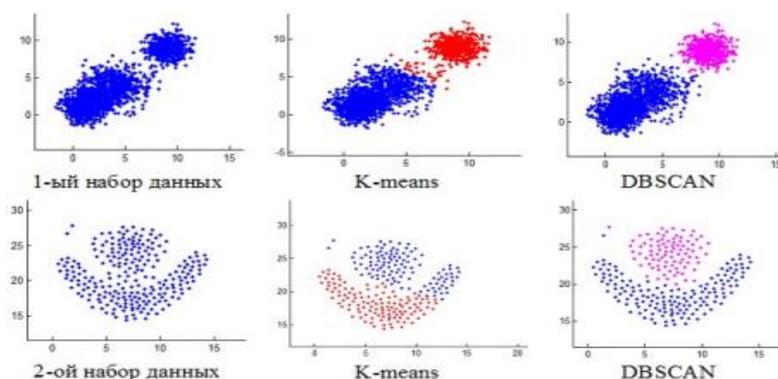


Рис. 1. Применение алгоритмов DBSCAN и K-means для распознавания объектов различной формы

Fig.1. Application of DBSCAN and K-means algorithms for recognition of objects of various shapes

Обсуждение результатов. K-means, таким образом, применяется для разбивки большого массива данных на отдельные кластеры, а алгоритм DBSCAN позволяет детализировать их форму и размеры. Это обуславливает актуальность применения нескольких алгоритмов в определенной последовательности для решения задач территориального планирования. В целом, применение в рамках территориального планирования различных алгоритмов распознавания, кластеризации и классификации данных, полученных при использовании лазерного сканирования требует индивидуального подхода к выбору алгоритмов, исходя из тех задач, которые поставлены. Так, например, идентификация, поиск повреждений на линейных объектах х железных дорогах, асфальтовых дорогах, предполагает сравнительно простые способы кластеризации, что позволяет использовать наиболее простой и быстрый в работе алгоритм SVM. Применение алгоритмов DBSCAN и K-means может быть применимо в рамках территориального планирования для решения более сложных задач – например, идентификации видов грунтов, как основы для будущих инженерных изысканий и планирования строительства, а также для поиска незарегистрированных капитальных сооружений. Такие задачи более сложны в части решения, и решение их, при применении вышеописанных алгоритмов, предполагает значительные временные затраты, которые можно минимизировать, последовательно используя алгоритмы с низкой и высокой вычислительной точностью.

Вывод. В целом, использование DBSCAN и K-means позволяет более эффективно отображать объекты на местности на планово-картографических материалах, в том числе, с учетом технического состояния, поломок и иных проблем таких объектов.

Применение различных алгоритмов распознавания, кластеризации и классификации данных, полученных при использовании лазерного сканирования, позволяет также сформировать определенные массивы данных, которые при наложении их друг на друга впоследствии и дальнейшей обработке позволяют получить еще более точные отображения объектов и территорий в документах территориального планирования.

Перспективным направлением в этой связи будет и применение методов машинного обучения, глубокого машинного обучения, которые, на основе обработки матриц данных, имеющих в памяти, а также фиксации алгоритмов обработки таких данных, в дальнейшем дают возможность получать более точные сведения об объектах на местности.

Таким образом, в рамках работы показана эффективность применения различных алгоритмов распознавания, кластеризации и классификации данных, полученных при использовании лазерного сканирования, в рамках осуществления территориального планирования.

Библиографический список:

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 30.12.2021)(с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2022)//База Консультант. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/fe0cad704c69e3b97bf615f0437ecf1996a5767
2. Богданов А.Н., Алешутин И.А. Наземное лазерное сканирование в строительстве и BIM-технологиях//Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, № 4 (46), 2018, С. 326-332.
3. Горохов Д.А., Ожигин Д.С., Ожигина С.Б., Дорош Н.А., Кулыгин Д.А., Воробьева Ю.Б. Инструментальные наблюдения за деформациями техногенных объектов // Интерэкспо Гео-Сибирь, Т. 1, №. 1, 2017, С. 135-139.
4. Каркищенко А.Н. Левашев С.П. Метод распознавания объектов по данным лазерного сканирования на основе спектральной теории графов//Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. №3 (205). С. 72-85.
5. Киямов И.К., Мингазов Р.Х., Музафаров А.Ф., Ибрагимов Р.А., Сибгатуллин А.А. Технология лазерного сканирования в 3D проектировании // Экспозиция Нефть Газ, №. 7 (32), 2013, С. 41-43.
6. Ковач Н.С. Картографирование линейных инженерных объектов по данным лазерного сканирования // Вестник Московского университета. Серия 5. География, №. 1, 2013, С. 47-54.
7. Кошан Е.К. Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Интерэкспо Гео-Сибирь, Т. 9, №. 1, 2017, С. 27-30.
8. Ленченкова Е.П. Моделирование трассы железнодорожного пути по результатам мобильного лазерного сканирования//Известия Петербургского университета путей сообщения, Т. 15, №. 3, 2018, С. 408-413.
9. Левашев С.П. Распознавание 3D объектов на основе спектральных инвариантов с использованием глубокого машинного обучения//Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2019, №. 3 (205), С. 20-31.
10. Пантюхин Д.В., Нгуен Данг Тао, Ву Вьет Тханг Применение нейронной сети типа многослойный персептрон для распознавания типа атаки на информационную систему на примере базы KDD'99. XI Всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение», 17 Марта 2015, МГППУ.
11. Середович В.А., Иванов А.В., Середович А.В., Горохова Е.И., Бородулина И.В., Романович Е.В. Применение наземного лазерного сканирования для контроля строительства и капитального ремонта автомобильных дорог // Интерэкспо Гео-Сибирь, Т. 1, №. 3, 2010, С. 69-72.
12. Середович В.А., Алтынцев М.А., Егоров А.К. Определение индекса ровности дорожного покрытия по данным мобильного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), Т. 22, №. 3, 2017, С. 33-44.
13. Созыкин А.В. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2017. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-obucheniya-glubokih-neuronnyh-setey> (дата обращения: 13.12.2022).
14. Холодов П. Н., Титов К. М., Подвербный В. А. Моделирование плана оси железнодорожного пути и его изменения в процессе эксплуатации // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование, №. 1 (61), 2019, С. 74-81.
15. Шоломицкий А.А., Лагутина Е.К., Соболева Е.Л. Применение лазерного сканирования для мониторинга большепролетных сооружений // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), Т. 23, №. 2, 2018, С. 43-57.
16. Шокина М.О. Применение алгоритма k-means++ для кластеризации последовательностей с неизвестным количеством кластеров // Новые информационные технологии в автоматизированных системах, №. 20, 2017, С. 160-163.
17. Cho M., Alahari K., Ponce J. Learning graphs to match, in IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2013, pp. 25-32.
18. Chavel I. Riemannian Geometry: A Modern Introduction // Cambridge University Press, Cambridge, 2006. – Vol. 98. – P. 471.
19. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks // NIPS'12 Proceedings of the 25th International Conference on Neural Information Processing Systems. – Lake Tahoe, USA, 2012. – P. 1097-1105.
20. Macrini D., Siddiqi K., Dickinson S. From Skeletons to Bone Graphs: Medial Abstraction for Object Recognition // 26th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR. – Anchorage, Alaska, USA, 2008. – P. 1-8

References:

1. Town Planning Code of the Russian Federation of December 29, 2004 N 190-FZ (as amended on December 30, 2021)(as amended and supplemented, effective from January 1, 2022). Consultant. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/fe0cad704c69e3b97bf615f0437ecf1996a5767

2. Bogdanov A.N., Aleshutin I.A. Terrestrial laser scanning in construction and vim-technologies. *Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*, 2018; 4 (46): 326-332.[In Russ]
3. D. A. Gorokhov, D. S. Ozhigin, S. B. Ozhigina, N. A. Dorosh, D. A. Kulygin, and Yu. Instrumental observations of the deformations of technogenic objects. *Interexpo Geo-Siberia*, 2017; 1(1): 135-139. [In Russ]
4. Karkishchenko A.N. Levashev S.P. Object recognition method based on laser scanning data based on spectral graph theory. *Izvestiya SFedU. Technical science*. 2019; 3 (205): 72-85.[In Russ]
5. Kiyamov I.K., Mingazov R.Kh., Muzafarov A.F., Ibragimov R.A., Sibgatullin A.A. Laser scanning technology in 3D design. *Oil and Gas Exposition*, 2013; 7 (32): 41-43 .[In Russ]
6. Kovach N.S. Mapping of linear engineering objects according to laser scanning data. *Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography*, 2013; 1: 47-54.[In Russ]
7. Koshan E.K. Possibilities, advantages and disadvantages of terrestrial laser scanning. *Interexpo Geo-Siberia*, 2017; 9(1): 27-30.[In Russ]
8. Lenchenkova E.P. Modeling the route of the railway track based on the results of mobile laser scanning. *Bulletin of the Petersburg University of Railway Transport*, 2018; 15(3): 408-413.[In Russ]
9. Levashev S.P. Recognition of 3D objects based on spectral invariants using deep machine learning. *Bulletin of the Southern Federal University. Technical sciences*, 2019; 3 (205): 20-31.[In Russ]
10. Pantyukhin D.V., Nguyen Dang Tao, Vu Viet Thang Application of a neural network of the multilayer perceptron type for recognizing the type of attack on an information system on the example of the KDD'99 base. XI All-Russian Scientific Conference "Neurocomputers and their applications", March 17, 2015 , MSUPU.[In Russ]
11. Seredovich V.A., Ivanov A.V., Seredovich A.V., Gorokhova E.I., Borodulina I.V., Romanovich E.V. Application of terrestrial laser scanning to control the construction and overhaul of highways. *Interexpo Geo-Siberia*, 2010; 1(3): 69-72.[In Russ]
12. Seredovich V.A., Altyntsev M.A., Egorov A.K. Determination of the evenness index of the road surface according to mobile laser scanning data. *Vestnik SSUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*, 2017; 22(3): 33-44.[In Russ]
13. Sozykin A.V. Overview of learning methods for deep neural networks. *Bulletin of SUSU. Series: Numerical Mathematics and Informatics*. 2017. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-obucheniya-glubokih-neyronnyh-setey> (date of access: 12/13/2022)[In Russ]
14. Kholodov P. N., Titov K. M., Podverbny V. A. Modeling the plan of the axis of the railway track and its changes during operation. *Sovremennye tekhnologii. System analysis. Modeling*, 2019;1(61):74-81[In Russ]
15. Sholomitsky A.A., Lagutina E.K., Soboleva E.L. Application of laser scanning for monitoring of large-span structures. *Bulletin of SGUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*, 2018; 23(2): 43-57[In Russ]
16. Shokina M.O. Application of the k-means++ algorithm for clustering sequences with an unknown number of clusters. *New information technologies in automated systems*, 2017; 20: 160-163.[In Russ]
17. Cho M., Alahari K., Ponce J. Learning graphs to match, in IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2013; 25-32.
18. Chavel I. Riemannian Geometry: A Modern Introduction. *Cambridge University Press, Cambridge*, 2006; 98: 471.
19. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. NIPS'12 Proceedings of the 25th International Conference on Neural Information Processing Systems. Lake Tahoe, USA, 2012; 1097-1105.
20. Macrini D., Siddiqi K., Dickinson S. From Skeletons to Bone Graphs: Medial Abstraction for Object Recognition. 26th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR. Anchorage, Alaska, USA, 2008; 1-8

Сведения об авторах:

Ольга Сергеевна Болтовнина, студент, кафедра кадастра и геоинженерии, barilchenko00@mail.ru
Дмитрий Андреевич Гура, кандидат технических наук, доцент, кафедра кадастра и геоинженерии; gda-kuban@mail.ru

Information about authors:

Olga S. Boltovnina, Student, Department of Cadastre and Geoen지니어ing; barilchenko00@mail.ru
Dmitry A. Gura, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Department of Cadastre and Geoen지니어ing; gda-kuban@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 04.02.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 26.02.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 26.02.2023.