Распознавание вертикальных граней трехмерных объектов по данным лазерного сканирования[1]

Ю.Л. Костюк, М.И. Литовченко

Национальный исследовательский
Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Технология лазерного сканирования широко используется в различных отраслях и решает множество производственных задач. Результатом применения данной технологии является трехмерное облако точек. Эти данные обрабатываются с помощью специального программного обеспечения. Обзор ряда программных продуктов приведен в работе [1].

Как правило, алгоритмы обработки лазерных данных нацелены на выделение из облака точек типовых объектов. Каждый алгоритм имеет свой подход и использует не только координаты точек, но и другие параметры, в зависимости от этого меняется трудоемкость выполнения алгоритмов и качество распознавания объектов. Многие из этих алгоритмов основаны на преобразовании Хафа [2, 3].

В работе [4] предложена структура клеточного разбиения, позволяющая снизить трудоемкость большинства алгоритмов распознавания до линейного порядка $O(n)$. В работе [5] подробно описаны алгоритмы нахождения подстилающей поверхности и горизонтальных граней, использующие подобную клеточную структуру. В данной статье рассматривается способ выделения вертикальных граней трехмерных объектов с помощью клеточной структуры.

Распознавание вертикальных граней объектов

Этот этап рекомендуется проводить после обнаружения и удаления из рассмотрения точек, принадлежащих подстилающей поверхности, горизонтальным граням, а также одиночным высоким объектам.

Вертикальная грань представляет собой проекцию на плоскость xOy в виде отрезка прямой. Алгоритм, основанный на идее преобразования Хафа, заключается в следующем: необходимо обнаружить кусочки грани с наибольшим количеством входящих точек.

[1] Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект №2.4218.2017/4.6

В силу непредсказуемости входных данных следует задать минимальную длину грани в виде количества клеток как параметр, который подбирается экспериментальным путем. Предположим, что грань, которую можно распознать, имеет длину не менее четырех размеров клетки разбиения. Тогда для каждой ячейки ($i1$, $j1$) клеточного пространства существует двенадцать уникальных положений для другого конца отрезка ($i2$, $j2$). Конец отрезка как бы поворачивается по часовой стрелке от начального положения, изображенного на рис. 1, до конечного положения на рис. 2. Среди всех возможных положений находится то, которое содержит наибольшее количество точек суммарно по четырем клеткам.

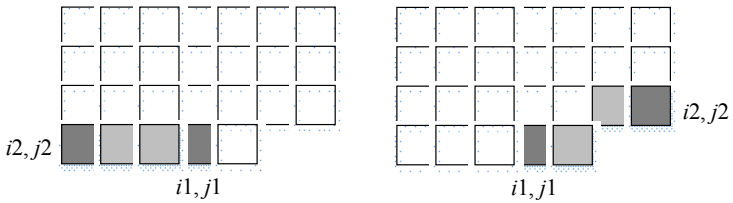

Рис. 1. Начальное (слева) и конечное (справа) положение отрезка

Для найденной четверки клеток, содержащей отрезок, проводится аппроксимация по методу наименьших квадратов. Далее отрезок продлевается следующим образом: если у его текущих концов существуют соседние клетки, продолжающие отрезок и содержащие достаточное количество точек, то эти клетки добавляются к отрезку. После этого производится повторная аппроксимация для увеличения точности распознавания проекции грани.

Уравнение аппроксимирующей вертикальной грани:

$$Ax + By + 1 = 0\,,$$

где коэфициенты A и B вычисляются по формулам, приведенным в работе [6]:

$$A = \frac{ce - bd}{c^2 - ab}, \quad B = \frac{cd - ae}{c^2 - ab},$$

где $$a = \sum_{i=1}^{n} x_i^2,\ b = \sum_{i=1}^{n} y_i^2,\ c = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i,\ d = -\sum_{i=1}^{n} x_i,\ e = -\sum_{i=1}^{n} y_i.$$

Для построения модели распознанной грани проводится обнаружение ее границ. Точки (x_i, y_i), принадлежащие грани, преобразуются в систему координат плоскости грани xOy. При этом координаты z_i исходных точек остаются неизменными и становятся координатами по Y в плоскости грани. Возможны три случая:

1. $A = 0$, тогда координаты x_i равны исходным, среди них находится минимум и максимум.

2. $B = 0$, тогда координаты y_i становятся координатами по X, среди них находится минимум и максимум.

3. $A \neq 0$ и $B \neq 0$, тогда координаты пересечения перпендикуляра от исходной точки (x_i, y_i) к проекции грани (x_{0i}, y_{0i}) рассчитываются в соответствии с формулами, приведенными в [6]:

$$x_{0i} = -(A + B(Ay_i - Bx_i))/(A^2 + B^2),$$
$$y_{0i} = (A(Ay_i - Bx_i) - B)/(A^2 + B^2).$$

По полученным координатам (x_{0i}, y_{0i}) находятся минимумы ($x_{\min}$, $y_{\min}$) и максимумы ($x_{\max}$, $y_{\max}$). Точка ($x_{\min}$, $y_{\min}$) становится началом координат по X в плоскости грани, а исходные координаты точки (x_i, y_i) пересчитываются в координату $x_{new\,i}$ по X в плоскости грани по формуле

$$x_{new\,i} = \sqrt{(x_{0i} - x_{\min})^2 + (y_{0i} - y_{\min})^2}\ .$$

В качестве модели грани строится двумерная триангуляция в плоскости распознанной грани или строится почти выпуклая оболочка, как показано на рис. 3.

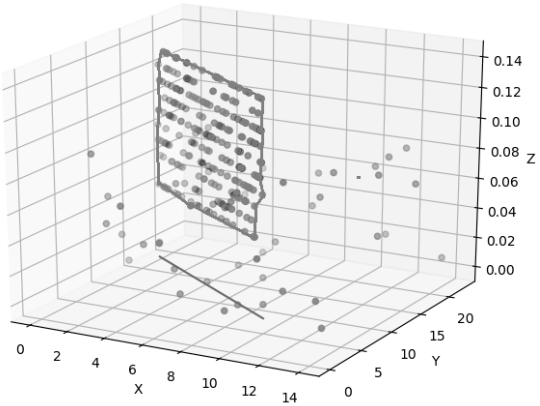

Рис. 3. Отображение вертикальной грани

Заключение

Используемая структура клеточного разбиения позволяет эффективно распознавать и оценивать параметры объектов разных типов. В частности, грани, выявленные с помощью предложенного способа, можно объединять для получения сложных объектов, таких, как здания и сооружения на местности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Медведев В.И.*, *Райкова Л.С.* Программы для обработки данных лазерного сканирования местности // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2017. № 2(9). С. 10–31.
2. *Ballard D. H.* Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes // Pattern Recognition. 1981. V. 13. No. 2. P. 111–122.
3. *Dalitz C.*, *Schramke T.*, *Jeltsch M.* Iterative Hough transform for line detection in 3D point clouds // Image Processing On Line. 2017. No. 7. P. 184–196.
4. *Rodríguez-Cuenca B. et al.* Automatic detection and classification of pole-like objects in urban point cloud data using an anomaly detection algorithm // Remote Sensing. 2015. V. 7. No. 10. P. 12680–12703.
1. *Костюк Ю.Л.*, *Литовченко М.И.*, *Смирнова А.А.* Распознавание трехмерных объектов на местности по данным лазерного сканирования // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2018): материалы XVII Междунар. конф. им. А.Ф. Терпугова, 10–15 сент. 2018 г. Томск: Изд-во НТЛ, 2018. С. 193–198.
6. *Костюк Ю.Л.*, *Литовченко М.И.* Распознавание граней трехмерных объектов по данным лазерного сканирования // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2017): материалы XVI Международной конференции имени А.Ф. Терпугова. Томск: Изд-во НТЛ, 2017. С. 55–61.