

## ФРЕЙМВОРК РЕГИСТРАЦИИ ОБЛАКОВ ТОЧЕК В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

<sup>1</sup>Снисаренко С. В., <sup>2</sup>Стасевич Н. А.

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиофизики,  
Минск, Беларусь, *kafsu@bsuir.by*,

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиофизики,  
Минск, Беларусь, *stasevich@mail.ru*

**Аннотация.** Алгоритм получения трехмерных цифровых моделей объектов при помощи 3D-сканирования идентичен в различных областях его применения и заключается в совмещении отсканированных частей объекта в одной системе координат. Задача получения 3D-модели совмещения трехмерных облаков точек актуальна на сегодняшний день, т. к. позволяет получать полноценные 3D-модели как объектов большого размера со сложной формой, состоящей из множества выпуклостей и впадин, так и трехмерные модели объектов простой формы небольшого размера. Задача регистрации облаков актуальна в области построения трехмерного окружающего пространства для определения местоположения роботов и планирования их оптимального пути [1]. При помощи сканера строится 3D-модель сегмента окружающего пространства, полученного из определенной точки. Затем полная модель создается посредством объединения полученных сегментов. Таким образом, получается трехмерная модель всего окружающего пространства робота, в котором уже рассчитывается оптимальный путь.

### *1. Постановка задачи*

Одной из основных проблем 3D-моделирования является проблема совмещения полученных снимков в единую систему координат. Снимки представляют собой облака точек одного объекта, полученных с различных ракурсов. Регистрация снимков включает в себя нахождение взаимного расположения и ориентации одного сегмента изображения рабочего пространства робота относительно другого, и в последующем наиболее точное совмещение перекрывающихся областей точек. Существуют различные способы регистрации моделей. Наиболее известные методы регистрации облаков точек в трехмерном пространстве: итерационный алгоритм ближайших точек (Interactive Closest Points, ICP) и его модификации. Для уменьшения вычислительной сложности и сохранения качества выполнения алгоритма используется манхэттенская метрика вместо евклидовой для измерения расстояния между точками, глобальные контрольные точки, особые точки, полученные на основе изображений углов поворота, так называемые ВА-изображения [2]. На основе анализа данных модификаций алгоритма регистрации облаков точек необходимо спроектировать и реализовать фреймворк совмещения данных трехмерного сканирования. То есть необходимо совмещать исходные облака точек, полученных из снимков с по-

мощью камеры, в единое облако точек, с целью получения 3D-модели окружающего пространства или объекта с возможностью загрузки одновременно несколько снимков и получения на выходе единой 3D-модели.

На вход подаются динамическое и статическое облака точек. В ходе выполнения алгоритма динамическое облако преобразовывается к системе координат статического облака. Таким образом, получив на вход трехмерные облака точек, необходимо выбрать такие пары точек, которые бы позволили наиболее точно совместить облака. В результате такие точки можно назвать особыми или ключевыми. Для поиска особых точек используются ВА-изображения. Следовательно, для каждого облака точек строится ВА-изображение по следующей формуле:

$$VA_{ij} = \arccos \left( \frac{a+b-c}{2a^2b^2} \cdot \frac{180}{\pi} \right),$$

где  $a = \|p_{ij}\|_2$ ,  $b = \|p_{ij} - p_{ij} + 1\|_2$ ,  $c = \|p_{ij} - 1\|_2$ ;  $p_{ij}, p_{ij} + 1$  – соседние точки в облаке.

Затем используя полученные ВА изображения выполняется поиск особых точек с помощью детектора. Далее по алгоритму устанавливаются наиболее точные соответствия между особыми точками с использованием дескрипторов точек. Так как такие точки, полученные на ВА-изображениях являются двумерными, их необходимо преобразовать в трехмерные с использованием соответствующих облаков. Таким образом, получив пары трехмерных особых точек, решается проблема фильтрации точек, на основе которых будет происходить совмещение облаков точек. Далее полученные точки подаются на вход алгоритму ICP с использованием глобальных контрольных точек. Глобальные контрольные точки вычисляются как средние значения всех особых точек в облаках. Затем необходимо сместить облака особых точек путем вычитания координат глобальной контрольной точки. На основе полученных данных рассчитываются матрица поворота и вектор сдвига с использованием сингулярного разложения матриц (SVD). На следующем шаге происходит обновление динамического облака в соответствии с рассчитанными матрицей поворота и вектором сдвига.

Для расчета ошибки между облаками используется манхэттенскую метрику, она имеет меньшую вычислительную сложность и, следовательно, алгоритм будет выполняться за меньшее время.

## *2. Проектирование фреймворка регистрации облаков точек в трехмерном пространстве*

На рис. 1 представлена UML-диаграмма компонентов (модулей) проектируемого фреймворка.

Совмещение облаков на базе полученных ВА-изображений и глобальных контрольных точек с использованием манхэттенской метрики реализуется в модуле совмещения трехмерных облаков точек. Далее преобразование снимков в облака точек с реализацией перевода снимков, полученных с помощью камеры, в трехмерные облака точек происходит в модуле преобразования снимков в облака точек. Перевод облаков точек в изображения в оттенках серого цвета, в

котором уровень цвета пикселя равен углу между двумя соответствующими соседними точками реализовано в модуле преобразования облаков точек в ВА-изображения. Далее реализован поиск точек интереса в изображениях, полученных на основе облаков точек в модуле преобразования облаков точек в ВА-изображения. Реализация совмещения облаков точек при помощи алгоритма ICP с использованием глобальных контрольных точек на основе ключевых точек, полученных на раннее выполненных этапах представлена в модуле алгоритма ICP с использованием ключевых и глобальных контрольных точек. Модуль передачи снимков предоставляет пользователю возможность выбора RGB снимков и снимков глубины, на основе которых будут получены трехмерные облака точек и совмещены. Также реализована возможность в модуле визуализации просматривать в единой системе координат облака точек до совмещения и после и оценивать визуально качество совмещения.

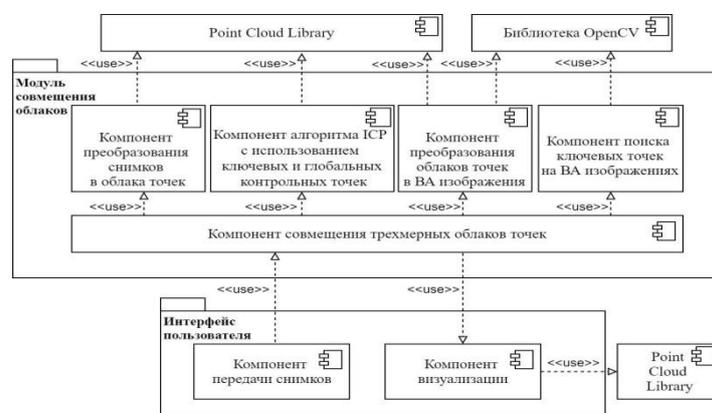


Рисунок 1 – Диаграмма модулей проектируемого фреймворка

Для проекта необходимы следующие библиотеки: Point Cloud Library (PCL) и OpenCV. Библиотека PCL предоставляет удобные структуры для работы с облаками точек и средства визуализации, позволяющие отображать облака точек в 3D-пространстве с различных ракурсов. Библиотека OpenCV предоставляет средства для работы с изображениями, а также детекторами и дескрипторами особых точек.

Для алгоритма регистрации облаков точек входными данными являются снимки с камеры технического зрения робота, точность и предел для прекращения выполнения итераций в случае, если разность между ошибкой на предыдущей итерации и следующей итерации меньше заданной точности, либо ошибка на выполненной итерации меньше заданного предела. На выходе получаются совмещенные облака точек. Алгоритм предназначен для совмещения нескольких облаков точек, поэтому для выполнения этой задачи, необходимо сначала совмещать каждое облако со всеми остальными, образуя пары, а затем происходит их объединение в единую систему координат. Таким образом формируется трехмерная модель рабочего пространства робота – манипулятора с находящимися в нем объектами.

Алгоритм регистрации облаков точек ICP с использованием ключевых и глобальных контрольных точек, а также с использованием манхэттенской метрики представлен на рис. 2.

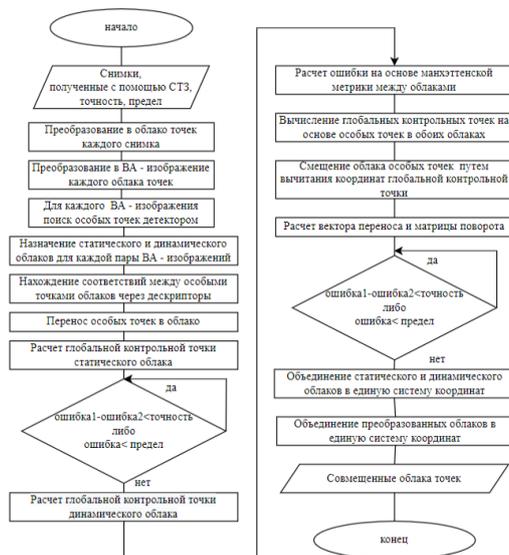


Рисунок 2 – Алгоритм регистрации облаков точек

### Заключение

Анализ существующих модификаций алгоритма регистрации облаков точек показал, что совмещения трехмерных облаков является актуальной задачей на сегодняшний день, т. к. до сих пор не создана идеальная модификация алгоритма ICP. В ходе анализа алгоритмов было принято решение использовать несколько модификаций, которые бы значительно улучшили базовый ICP: использование ВА-изображений, манхэттенской метрики и модификации, основанной на глобальных контрольных точках.

В данной работе представлен этап проектирования фреймворка регистрации облаков точек в трехмерном пространстве на основании модифицированного алгоритма ICP.

### Литература

1. Бобков, В. А. Восстановление траектории движения робота и реконструкция среды по изображениям. / В. А. Бобков, А. П. Кудряшов, С. В. Мельман, М. А. Морозов. // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2016. – Вып. 4. – С. 60–69.
2. Tao, L. Global ray-casting range image registration. / L. Tao, T. Bui, H. Hasegawa // IPSJ transactions on computer vision and applications. – 2017. – Vol. 9, No. 1. – P. 1–15.