



В результате заказы, исполнение которых исполнителем  $u_j$  невозможно, будут иметь заведомо неприемлемую стоимость и длительность исполнения, а значит никогда не попадут в его частное оверлейное представление.

Таким образом, не меняя базовой модели и постановки задачи, становится возможным адаптировать алгоритм построения частных оверлейных представлений метода интерактивной диспетчеризации для решения задачи назначения заказов на исполнителей с учётом их совместимости.

### Литература

1. Dmitriev A. Махотра dynamic real time scheduling solution / New Magenta Papers: Scientific papers, Volume 2. – Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2013. – p. 7 – 12

2. Чернова Д.В., Токманев С.В. Комплексная оценка экономической эффективности управления запасами оптово-посреднических организаций // Вестник Самарского государственного экономического университета, 2009. – № 10 (60). – с. 107 – 110

3. Иващенко А.В., Пейсахович Д.Г. Управление интерактивной диспетчеризацией ресурсов посреднического транспортного оператора // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – № 1.1 (55). – С. 151–155.

4. Иващенко А.В., Пейсахович Д.Г. Стратегии проактивной диспетчеризации в интеллектуальных системах управления ресурсами оператора 5PL // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т. 15, № 6. – С. 228–235

5. Пейсахович Д.Г. Управление интерактивной диспетчеризацией в едином информационном пространстве посреднического транспортного оператора // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / Пенза – 2014.

С.А. Разлацкий, П.Ю. Якимов

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В ТРЕХМЕРНОЙ СЦЕНЕ

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

### 1 Введение

С каждым годом человек все больше окружает себя всевозможными электронными устройствами, датчиками, сенсорами. С момента появления первых телефонов с установленными видеокамерами прошло чуть больше 10 лет, и теперь с развитием и удешевлением технологий производства видеосенсоры есть под рукой практически у каждого человека. В течение небольшого промежутка времени их разновидность заметно увеличилась. Одной из новых возможностей стало получение трехмерного изображения.

Способов получения трехмерных данных существует большое множество. Однако, в целом их можно разделить на два вида: пассивные и активные



(излучающие) сенсоры. Например, стереокамеры по сути симулируют человеческое зрение и, сравнивая, изображения с двух или более камер, получают так называемую карту глубин [1]. При этом стереокамеры используют только свет, излучаемый другими объектами. Иной принцип работы используют TOF-камеры (*time of flight*). Они обрабатывают изображение на основе светового сигнала (инфракрасный диапазон) между видеокамерой и объектом для каждой точки, то есть работают по принципу эхолотатора.

Существует множество методов и алгоритмов обработки и распознавания объектов в двумерных изображениях. К сожалению, далеко не все из них применимы для обработки и интерпретации трехмерных данных. Однако, очевидно, что потенциал развития трехмерных методов и алгоритмов детектирования и распознавания очень велик.

Востребованность таких методов в прикладных сферах сложно переоценить. Алгоритмы работы с трехмерными данными могут со временем полностью заменить методы обработки двумерных данных в областях, где требуется детектирование и распознавание трехмерных объектов.

## 2 Постановка задачи

В настоящей статье приведен анализ двух известных методов детектирования и распознавания объектов в трехмерной сцене и выбор наиболее оптимального из них. Для исследования были выбраны метод трехмерного преобразования Хафа (*3D Hough voting* [2]) и метод геометрических соответствий (*Geometric Consistency Grouping* [3]).

В качестве исходных данных используется трехмерное облако точек, полученное при помощи камеры Microsoft Kinect (Рис. 1а). В трехмерной сцене на переднем плане (с точки зрения близости к камере во время съемки) изображены три объекта, находящиеся на плоской поверхности. Для детектирования был выбран пакет молока, находящийся в центре. Для интересующего объекта был отдельно получен эталонный трехмерный снимок, который изображен на Рис. 1б.

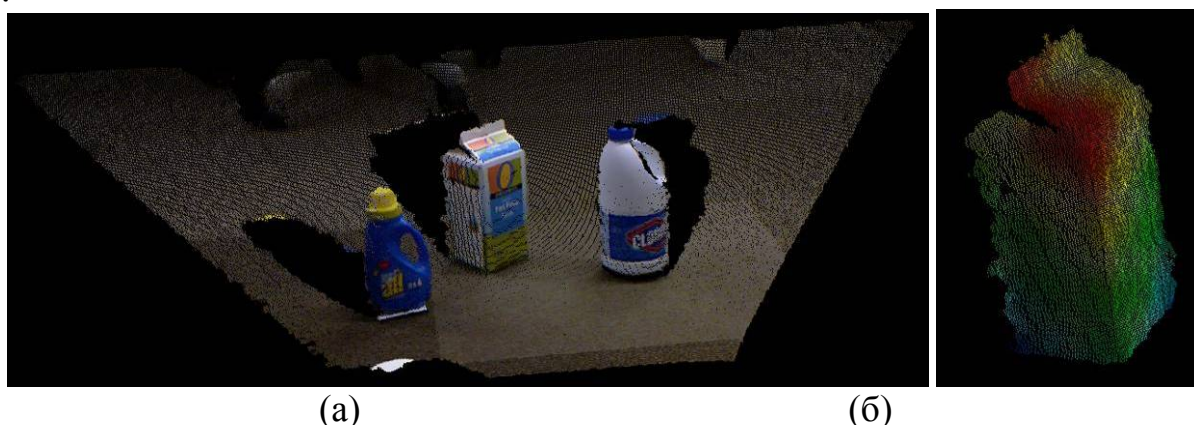


Рис. 1. (а) Исходные трехмерные данные;

(б) Эталонный трехмерный снимок детектируемого объекта

Решением поставленной задачи детектирования являются координаты и матрица поворота объекта в трехмерной сцене.



### 3 Детектирование и распознавание трехмерных объектов

В данных, указанных на Рис.1а и 1б, содержатся 307 200 и 13 740 точек соответственно. Наиболее простым и очевидным методом решения задачи детектирования является также, как и в двумерном случае, метод полного перебора. Однако, даже в таком довольно простом случае вычислительная мощность существующих процессоров недостаточна для быстрой обработки такого количества точек, тем более для обработки в реальном времени, то есть со скоростью получения кадров камерой.

Оба описанных выше метода используют для распознавания детектирование так называемых особых точек. Это трехмерные точки, которые получают различными методами: например, метод Харриса для поиска угловых точек, или более сложные дескрипторы – гистограммы ориентированных градиентов (*HoG*) и другие. После нахождения особых точек и на исходных данных, и на эталоне получают сильно прореженные данные, на которых и происходит поиск трехмерного объекта.

#### 3.1 Метод голосования Хафа

За основу метода взят алгоритм преобразования Хафа (*Hough Transform* [4]), который применяется для детектирования объектов на двумерных изображениях. Задача детектирования объекта, описанного заданной моделью, на двумерном цифровом изображении решается путем локализации изображения-эталона. Сначала исходное изображение бинаризуется, к примеру методом поиска границ (*edge detection*). Затем в каждой точке получившегося бинарного изображения проверяется гипотеза о присутствии эталонного искомого объекта. В процессе преобразования Хафа в специальном аккумуляторном пространстве накапливаются голоса. Область, получившая наибольшее количество голосов, в случае, если этого количества голосов достаточно, признается содержащей искомый объект.

Трехмерная версия преобразования Хафа основана на тех же принципах, что и двумерная. Главное отличие – это более сложные алгоритмы выбора точек на исходной сцене для проверки гипотезы о присутствии объекта.

Для инвариантности к вращению и масштабу искомого объекта необходимо повторять преобразование для повернутых и масштабированных эталонов. В результате получают координаты объекта и матрица вращения.

#### 3.2 Метод геометрической связанности

Основное отличие метода геометрической связанности от метода голосования Хафа – это использование более сложных дескрипторов особых точек [5]. Под дескриптором здесь имеется ввиду модель особой точки вместе с дополнительными параметрами и значениями.

В данном методе используется не только сама трехмерная точка, т.е. три ее координаты в пространстве, но также и гистограмма, посчитанная по окрестности этой точки (*Local Surface Patch – LSP*) (Рис. 2). Такое усовершенствование практически позволило добиться инвариантности алгоритма к поворотам и масштабированию, что существенно повлияло на производительность в сторону улучшения.

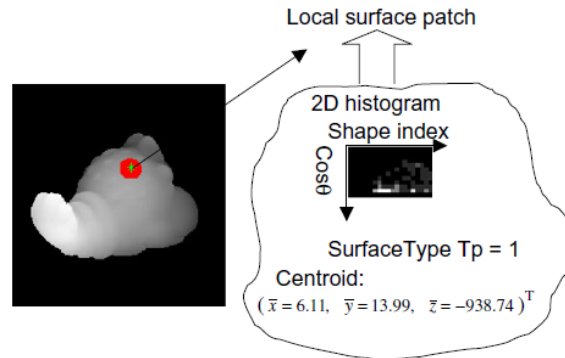


Рис. 2. Пример дескриптора локальной окрестности (*LSP*)

Еще одним важным отличием является использование хеш-таблиц. Для каждой точки вычисляется дескриптор локальных участков поверхности. Затем необходимые параметры заносятся в специальные созданные хеш-таблицы. На основе значений это таблицы подбираются области-кандидаты на наличие эталона, и выбирается наиболее соответствующая параметрам область.

#### 4 Результаты экспериментов

Для реализации описанных алгоритмов использовалась библиотека C++ для работы с трехмерными данными *Point Cloud Library (PCL)*.

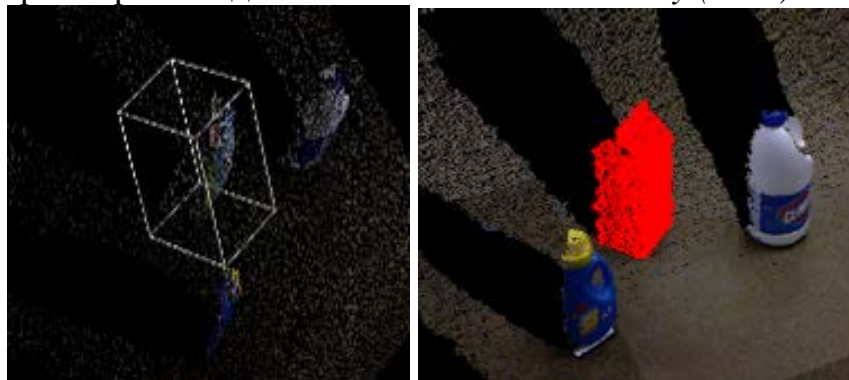


Рис. 3. Результаты распознавания алгоритмом Хафа

Результаты применения алгоритма голосования Хафа представлены на Рис. 3. Как видно на рисунке, алгоритм успешно решил поставленную задачу и точно указал на область присутствия искомого пакета молока.

Методом геометрической связности также удалось обнаружить расположения эталонного объекта. Но алгоритм выдал также еще 2 объекта, которые похожи на эталон. Как видно на Рис. 4, эти объекты детектированы ложно.

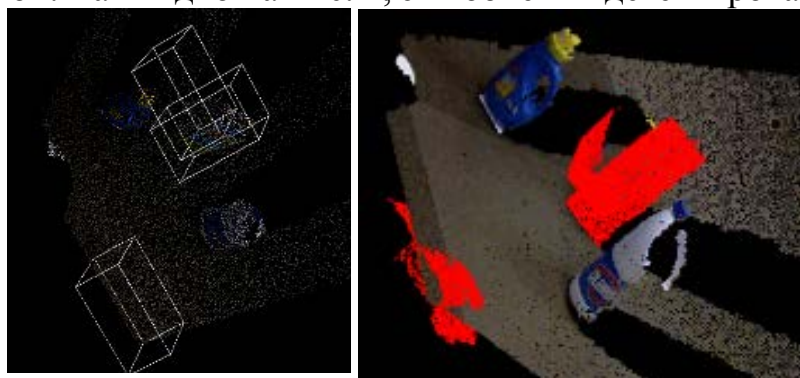


Рис. 4. Результаты применения метода геометрической связности





## 5. Заключение

В результате исследования методов были выяснены основные отличия, преимущества и недостатки. Метод голосования Хафа показал лучшие результаты на конкретных примерах данных, однако скорость работы метода геометрической связности оказалась немного выше.

В дальнейшем полученные результаты исследования предполагается использовать в задаче детектирования и распознавания пешеходов и прочих препятствиях при движении автомобиля. Для модификации был выбран метод основанный на преобразовании Хафа, показавший лучший результат по точности.

## Литература

1. Fursov, V.A., Information technology for digital terrain model reconstruction from stereo images / V.A. Fursov, Y.V. Goshin // Computer Optics. – Volume 38, Issue 2. – 2014. – P. 335-342
2. Tombari F., Object recognition in 3D scenes with occlusions and clutter by Hough voting / L. Di Stefano, F. Tombari // Fourth Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology. – 2010. – P. 2-4
3. Tombari, F., A Global Hypotheses Verification Method for 3D Object Recognition / A. Fitzgibbon, S. Lazebnik, P. Perona, Y. Sato, C. Schmid // Computer Vision – ECCV 2012, Lecture Notes in Computer Science. – 2012. – P. 511-524
4. Yakimov, P., Localization of objects contours with different scales in images using Hough transform / S. Bibikov, V. Fursov, P. Yakimov // Computer Optics. – Volume 37(4). – 2013. – P. 496-502
5. Chen, H., 3D free-form object recognition in range images using local surface patches / H. Chen, B. Bhanu // Pattern Recognition Letters. – 2007. – p. 1252-1262

К.Т. Саттарова

## МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

Сегодня применение мультиагентных систем стало популярным во многих отраслях: это и социальная структура, и анализ распространения заболеваний, и моделирование транспортных потоков. [1] На промышленных предприятиях такие системы применяются относительно недавно и требуют значительных доработок. Основным преимуществом мультиагентных систем является последующая возможность построения имитационных моделей рассматриваемой производственной системы, в том числе, имитация работы цеха. Программное обеспечение, применяемое для разработки имитационных моделей на основе мультиагентных систем несколько проще в применении, чем ПО, при-