

УДК 004.932.4

Бани-Амер Тамер, Хмелевой С.В., Азаренко Д.В.
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк,
кафедра автоматизированных систем управления;
Институт проблем искусственного интеллекта,
отдел распознавания речи.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ С ИЗВЕСТНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Аннотация

Хмелевой С.В., Азаренко Д.В., Бани-Амер Т. Детектирование объектов с известной геометрией на изображении. По двумерному видеоизображению движения объекта определяется его трехмерное пространственное положение. Геометрия объекта заранее задана и представляет собой агломерат из нескольких склеенных между собой шаров, что дает возможность визуально четко определять его позицию.

Ключевые слова: *оконтуривание изображений, проекция трехмерной модели, степень похожести изображений.*

Постановка проблемы. Имеется некоторый объект, представляющий собой агломерат, состоящий из соединенных сфер одинакового радиуса (см. рис. 1.). Объект может находиться как в свободном падении, контактируя с землей и отскакивая от неё, так и в горизонтальном полете, контактируя с жесткой стенкой. Кроме этого, в зависимости от свойств агломерата возможно разрушение объекта, распад его на несколько более мелких частей. Снято движение этого объекта, снятое с помощью высокоскоростной видеокамеры. Требуется по двумерному видеоизображению определить скорость объекта. Нахождения линейной скорости движения объектов недостаточно. Также необходимо нахождение угловой скорости, причем в двух осях. Измерение скорости вращения агломерата в двух осях всего по двумерному видеоизображению является нетривиальной научной задачей и представляет как научный, так и практический интерес.

Анализ литературы. Проведен анализ методов предобработки изображений [1]. Он показал, что для подготовки изображения достаточно использование средств пакета Matlab [2]. Он предоставляет все необходимые средства как для оконтуривания, так и для бинарных операций. Однако сама задача определения трехмерного положения объекта в русскоязычной части интернета не рассматривалась.

Цель статьи – определить трехмерную скорость движения и вращения агломерата по его двумерному видеоизображению.

Общий подход к решению задачи исследования. Выполнение данной задачи производилось следующим образом: производилась предварительная обработка изображений с целью получения четких границ каждой из шарообразных частиц агломерата. Далее, поскольку объект заранее известен, строилась его модель, из которой получались проекции в различном положении объекта. Эти проекции сравнивались с обработанным изображением. Проекция, наиболее похожая на изображение, считалась победителем, а координаты поворота модели, при которой была получена эта проекция – координатами поворота объекта.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- выделение границ объекта;
- получение проекции модели;
- сравнение изображения с проекцией модели.

Постановка задачи исследования. На этапе выделения границ объекта необходимо определить методы предобработки изображений F , преобразующие исходные изображения A_i в бинарные изображения $O_i = F(A_i)$. При этом должен максимально сохраняться контур каждой окружности, длина разрывов в контуре должна быть минимальной, а сами окружности внутри должны быть заполнены нулями.

На этапе получения проекции модели должна быть сформирована модель M объекта, которая может вращаться в трех плоскостях. Повернутая на углы α , β , γ модель $M(\alpha, \beta, \gamma)$ должна быть спроецирована на плоскость и получена проекция $P(M(\alpha, \beta, \gamma))$.

На этапе сравнения изображения с проекцией необходимо найти меру различия $Dist$ между бинарным изображением $F(A_i)$ и проекцией модели $P(M(\alpha, \beta, \gamma))$. При этом необходимо найти такие углы α , β , γ , при которых мера различия $Dist(F(A_i), P(M(\alpha, \beta, \gamma)))$ была минимальной.

Далее рассмотрены подробности решения каждого из этих этапов.

Выделение границ объекта

Края (границы) объекта - это кривые на изображении, вдоль которых происходит резкое изменение яркости или других видов неоднородностей на изображении. Другими словами, край — это резкий переход/изменение яркости [1]. Классическим способом для выделения границ является оператор Собеля [4], в котором пиксели изображения подвергаются умножению на

матрицу
$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$
 для выделения горизонтальных границ. Для выделения

вертикальных границ матрица транспонируется. Получается два результата от фильтрации этими двумя фильтрами, потом результаты усредняются с помощью среднего квадратичного. Такой метод позволяет очень хорошо выделять границы именно круглых изображений (рис. 1д, е, ж).

Получение проекции модели

Как видно из рис.1, аггломерат состоит из 7 шарообразных частей с одинаковыми радиусами. Эксперименты на изображениях, полученные с помощью преобразования Хафа [1], позволили получить размеры этих шаров в пикселях. Зная, что объекты склеиваются между собой, нетрудно определить места, где именно они соприкасаются. Далее, на основании расчета мест соприкосновения, нетрудно рассчитать координаты центров шаров. Координаты центров совместно с длиной радиуса шаров полностью характеризуют объект и позволяют, путем их вращения, получить проекцию объекта в любом положении.

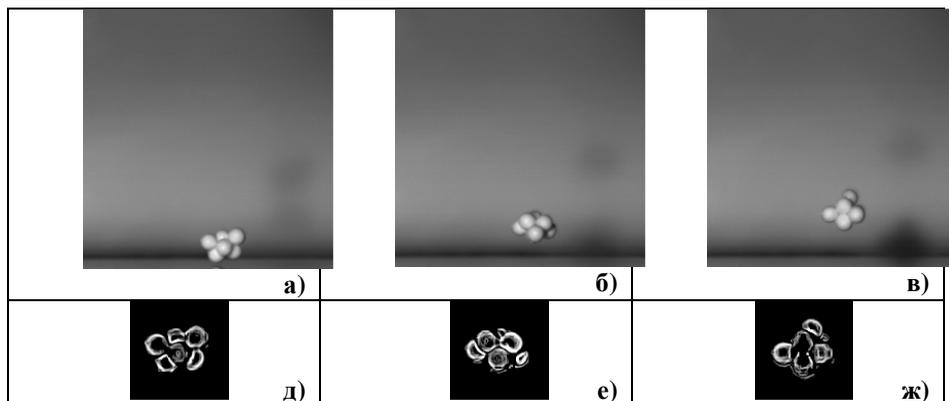


Рис. 1. Фрагменты видеоряда падения изображений: а), б), в) – исходные изображения, д), е), ж) – обработанные оператором Собеля.

Сравнение изображения с проекцией модели

Поскольку объект полностью определяется центрами шаров и их радиусами, поворот объекта в трехмерном пространстве осуществляется путем умножения этих центров на матрицы поворота [5]:

$$M_x(\alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$M_y(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & 0 & \sin(\alpha) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\alpha) & 0 & \cos(\alpha) \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$M_z(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Совместный поворот осуществляется последовательным поворотом вокруг каждой из осей.

Такой поворот имеет значительный недостаток: результат нескольких последовательных поворотов на малые углы не равен результату одного большого поворота на сумму этих углов. Также последовательные повороты вокруг всех трех осей не дают того же результата, что один совместный поворот. Однако и матрица совместного поворота не избавляет от вышеуказанного недостатка. Поэтому принято решение при последовательных поворотах производить один большой совместный поворот, перед этим возвращая фигуру в исходное состояние и потом поворачивая на измененный угол. Такой поворот дает стабильный и повторяемый результат, который можно проверить.

Проекция объекта после поворота получается путем нанесения на плоскость границ каждого шара агломерата, и потом удаления точек, находящихся внутри проекций более близких шаров.

Сравнение проекции с изображением производится путем нахождения Хэммингова расстояния между пикселями изображения (переведенного в черно-белое с некоторым порогом) и утолщенной проекции объекта (нахождение проекции проводится с тремя радиусами шаров: $R-1$, R , $R+1$).

Результаты работы

Вышеописанный метод определения положения трехмерного объекта был реализован с использованием среды программирования Visual C++ 2008. Экранная форма программной реализации показана на рис.2. Результаты работы вполне успешные и адекватные, хотя для увеличения точности определения положения объекта и необходимо применение ряда мер по улучшению оконтуривания изображения и модификации сравнения проекции с изображением.

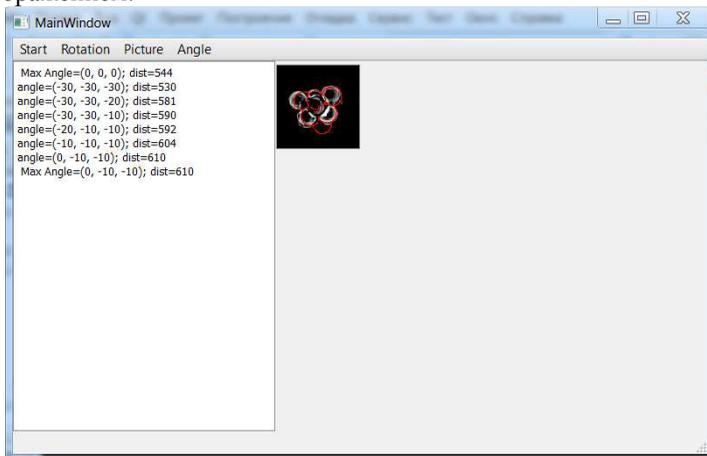


Рис.2. Экранная форма программной реализации метода.

Выводы.

1. Произведена постановка задачи определения трехмерного положения объекта по двумерному изображению. Решение задачи сводится к нахождению контура изображения и дальнейшему его сравнению с проекцией модели объекта.

2. Выполнено оконтуривание объекта. Для оконтуривания используется среднее квадратичное выделение горизонтальных и вертикальных градиентов по методу Собеля.

3. Получена модель объекта, определены и проверены её преобразования для трехмерного вращения.

4. Выполнена программная реализация сравнение проекции модели объекта и оконтуренного изображения. Результаты являются вполне адекватными и заслуживающими дальнейшего исследования.

Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. Москва: Техносфера, 2006. – 616с.

2. Дьяконов В. Matlab. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 608с.: ил.

3. Статические алгоритмы обнаружения границ объектов на изображении / А. А. Сирота, А. И. Соломатин. - ВЕСТНИК ВГУ, СЕРИЯ: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, 2008, № 1

4. Оператор Собеля [Электронный ресурс] / Википедия – свободная энциклопедия. – Россия, 2013. - Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/%CE%EF%E5%F0%E0%F2%EE%F0_%D1%EE%E1%E5%EB%FF . - Загл. с экрана.

5. Матрица поворота [Электронный ресурс] / Википедия – свободная энциклопедия. – Россия, 2013. - Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/%CC%E0%F2%F0%E8%F6%E0_%EF%EE%E2%EE%F0%EE%F2%E0 . - Загл. с экрана.