

## РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МЕТОДА ПОИСКА ТРАЕКТОРИЙ НА РАСТРОВОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

*Литвин С.С., Ручкин К.А.*

Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ), Украина

Задача о движении твердого тела вокруг неподвижной точки является классической задачей механики и имеет уже более чем двухсотлетнюю историю своего развития. За этот период времени, различными исследователями и учеными было получено огромное количество теоретических и практических результатов, существенно продвинувших и обогативших это направление [1-3]. Основным из этих результатов, является доказательство того факта, что, общее теоретическое (аналитическое) решение этой задачи математическими методами получено быть не может. Благодаря быстрому развитию компьютерной техники и компьютерных информационных и вычислительных технологий интерес к этой задаче снова возрастает. Разработанное в последние годы алгоритмическое и программное обеспечение [4], поддерживающее геометрическую визуализацию и современные методы компьютерной графики, позволяет создавать универсальные инструментальные средства глобального анализа динамических систем, возникающих в классических задачах аналитической механики.

В данной работе продолжены начатые в [2, 5] исследования по разработке метода и алгоритма распознавания замкнутых плоских кривых (траекторий), построенных с помощью сечений Пуанкаре на сфере Пуассона [2]. Предложенный алгоритм использует предварительную обработку изображения, методику заливки и разработанный классификатор изображений.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является разработка методов и алгоритмов решения задачи обнаружения и распознавания замкнутых кривых, которые представляют собой траектории, построенные с помощью сечений Пуанкаре на сфере Пуассона (рис.1). Объектом исследования выступают методы и алгоритмы распознавания плоских кривых на двумерных изображениях. Предметом исследования являются изображения специального вида с хаотическими и нехаотическими траекториями, полученный с помощью программного комплекса Modeler [2]. Для разработки алгоритмов был составлен классификатор исследуемых изображений.

**Анализ изображений и построение классификатора.** При разработке классификатора проведём исследование типов таких траекторий с помощью многочисленных симуляций и испытаний для различных начальных параметров. В результате проведенных исследований были выделены основные категории и составлен классификатор. Классификатор отражает все возможные состояния объекта и основан из 5 непересекающихся классов. Объекты, относимые к одному классу образов,

обладают общими свойствами. Внутри каждого класса возможны выделения подклассов. Подклассам присущи свойства, как объектов основного класса, так и индивидуальные характеристики. Опишем классы более подробно. Типичные экземпляры классов приведены на рис.2.

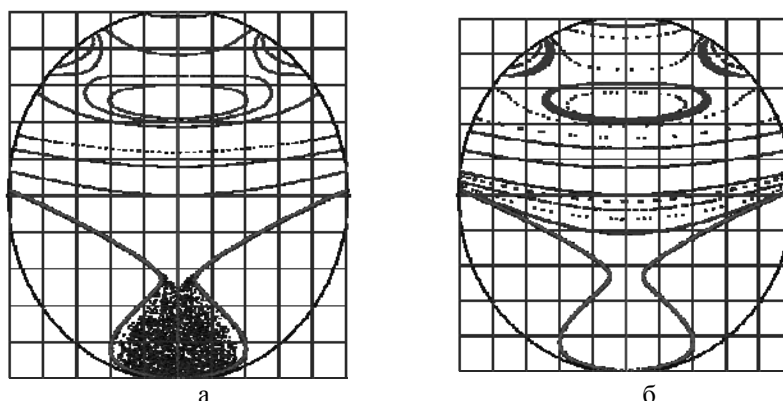


Рис.1. Экземпляр проекции кривых Пуанкаре на сфере Пуассона с выраженной областью хаоса (а) и без области хаоса (б).

Класс 1 – «Точка». Этот класс характеризуется отдельной точкой, в окружении которой нет других точек. В трехмерном случае, минимальное количество точек на объекте – две.

Класс 2 – «Линия». Все точки располагаются в строгой последовательности, удовлетворяющей уравнению линии. В трехмерном случае, замыкаясь, линия образует окружность на сфере.

Подкласс 2.1 – «Изогнутая линия». Точки лежат на одной кривой, которая не имеет самопересечений. В трехмерном случае кривая представляет собой изогнутую замкнутую линию.

Класс 3 – «Замкнутая кривая». Класс представляет совокупность точек, образующих замкнутую линию. В этом случае могут возникать незначительные изменения линии, сохраняя положительное значение кривизны. В трехмерном случае так же представляет собой окружности с незначительными искажениями.

Подкласс 3.1 – «Невыпуклая замкнутая кривая». Класс представляет совокупность точек, образующих замкнутую линию, однако в этом классе окружность может иметь значительные искажения, принимая отрицательные значения кривизны. В трехмерном случае – сложная фигура с возможными самопересечениями.

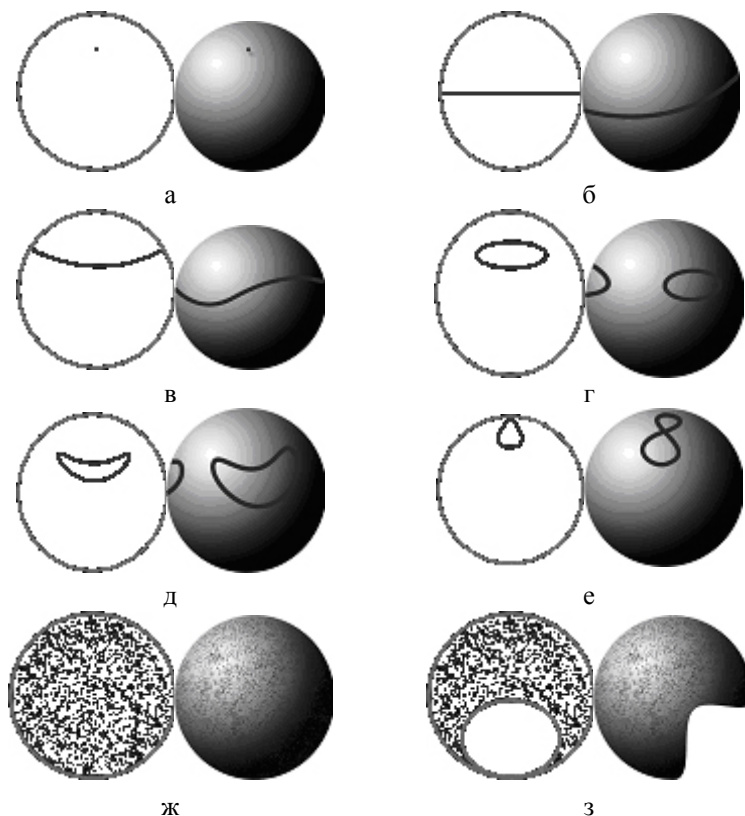


Рис.2. Типичные экземпляры классов «Точка» (а), «Линия» (б), «Изогнутая линия» (в), «Замкнутая кривая» (г), «Невыпуклая замкнутая кривая» (д), «Замкнутая кривая с самопересечением» (е), «Область хаоса» (ж) и «Несуществующая область» (з).

Подкласс 3.2 – «Замкнутая кривая с самопересечением». Замкнутые, деформированные до степени самопересечения. Существуют как одноразовые самопересечения, так и многократные самопересечения – мультипересечения.

Класс 4 – «Область хаоса». Представляет собой множество рядом стоящих точек, по которым невозможно выделение траекторий. То есть вблизи каждой точки существует более двух точек на заданном пороговом расстоянии.

Класс 5 – «Несуществующая область». К данному классу относятся области, которые не могут содержать точек, но учитываются в процессе распознавания.

Каждый класс имеет ряд уникальных признаков, что сводит вероятность неверной классификации к минимуму. Единственную

сложность представляют области с многочисленными пересечениями, где сложно выделить типы пересекающихся фигур. Если рассматривать только проекции, то они не будут содержать никаких пересечений, в виду того, что проецируемая область является лишь симметричной половиной от другой части объекта.

**Алгоритм обработки и распознавания кривых.** В основе метода лежат алгоритмы предварительной, основной и дополнительной обработка изображений, которые проводятся в 6 этапов. Опишем работу алгоритмов более подробно.

Шаг 1. Предварительная обработка необходима для устранения объектов на изображении, способных увеличить ошибку распознавания. Таковыми являются – вспомогательная сетка (фон), координатные оси, контуры объекта (опционально), одиночные пиксели, недостроенные траектории.

Очистка изображения от вспомогательных линий и фона. Очистка производится путем перебора всех пикселей входного изображения. При этом, точки имеющие черный цвет заменяются на белый. Это необходимо для дальнейшего анализа траекторий, который будет использовать коды красного и зеленого цветов, описанного в шаге 4.

На изображении присутствует ось ординат (OY) красного цвета, являющаяся помехой для обнаружения кривых. Для глаза она имеет тот же оттенок что и искомые кривые, но код её цвета не совпадает с ними. Ось располагается на заранее известных координатах (199x0 – 199x299, 200x0 – 200x299, при разрешении изображения 400x300 пикселей). Для корректного удаления оси нужно проверить соседние точки по горизонтали (координаты 198x0 – 198x299, 201x0 – 201x299) и произвести замену этими пикселями. Таким образом, удастся избежать «рассечения» кривых.

Шаг 2. Основная обработка изображения. В процессе построения кривых программой-генератором, возникают ситуации, при которых траектория является незавершенной. Эти случаи вызваны ограничением по времени, либо когда полное построение не представляется возможным. В виду того, что эта кривая строится по особому алгоритму, представляется возможным восстановление потерянных (недостроенных) сегментов траектории.

Алгоритм восстановления отсутствующих сегментов траектории основан на цветовом анализе изображения. Был применен пороговый метод.

В зависимости от степени сложности (в это понятие входит процент потери сегментов на кривой, соотношение ширины к длине траектории, разброса и других помех) обрабатываемого изображения возможна повторная обработка.

Шаг 3. Алгоритм распознавания кривых. Выделение областей изображения с известными свойствами (признаками) кривых.

На входе алгоритма имеется подготовленное изображение с объектами, очищенное от шумов, вспомогательной сетки и границ объекта. Так как

исследуемые кривые были получены с помощью сечения трехмерной модели сферического тела, они обладают свойством симметричности по вертикали и располагаются строго симметрично относительно центра изображения.

Исходя из этого, оптимальной точкой для начала поиска кривых является координата 199x299 (для разрешения изображения 400x300). Направление поиска осуществляется по формуле 199xN (где N=299..0) снизу вверх. Эта нижняя центральная позиция увеличивает вероятность обнаружения кривых, т.к. они обязательно пройдут через середину.

После того, как был найден контур объекта, происходит обход вдоль контура по принципу «правой руки». Во время обхода контур оставляется «след» зелёного цвета, нужный для остановки в случае движения по замкнутому контуру, а так же визуального выделения области. Обход прекращается по достижении одного из условий – следующий пиксель имеет зелёный цвет, либо достигнута граница сферы (на плоскости является окружностью).

Контур считается выделенным. Продолжается поиск следующей траектории по тому же принципу.

Шаг 5. Классификация кривых. Поиск замкнутых, незамкнутых кривых и хаотичных областей алгоритмом заливки.

После выделения границ контуров происходит поиск траекторий, который заключается в последовательном переборе всех пикселей изображения до нахождения пикселя красного цвета. Если пиксель был найден – создается временная копия изображения. На временной копии производится заливка найденной траектории синим цветом, с последующим отсечением всех остальных траекторий по цветовому признаку.

После отсечения всех траекторий кроме одной производится определение ее размера с последующей классификацией. Если линия слишком мала, то есть ее размер меньше порогового значения заданного, то она не подвергается дальнейшему анализу и считается шумом. В противном случае выбирается один из пикселей фона и от него на временном изображении производится заливка зеленым цветом. После заливки производится поиск пикселей белого цвета, наличие которых свидетельствует о замкнутости траектории, а отсутствие о том, что она разомкнута.

Шаг 6. На последнем этапе проводится дальнейший анализ изображения. Анализ степени хаотичности распознанных кривых основывается на статистических данных обработанного изображения. Анализируется количество замкнутых и незамкнутых траекторий, неправильно распознанных или несуществующих областей.

**Результаты тестовых испытаний.** Для тестовых испытаний были отобраны однотипные образцы траекторий. Цель испытаний – выявление случаев неэффективного либо неадекватного поиска и выделения кривых. Образцы представляли собой как завершённые, так и незавершённые

объекты. Наибольшая эффективность алгоритма проявилась на изображениях с отсутствием хаотичных областей и завершенностью кривых на 85–100%. Ошибочное распознавание хаотичных областей проявлялось в случаях с плотностью расположения точек на расстоянии меньшим либо равным размеру самой точки. Эффективность метода составила 83%.

Тестирование проводилось при заданных постоянных параметрах объекта ( $A=1.7$ ,  $B=0.9$ ,  $C=0.8$ ,  $h=1.91$ ,  $g=1.76$ ). Изменению подлежали параметры точки, через которую должна пройти траектория ( $nu1$ ,  $nu2$ ,  $nu3$ ).

Результаты представлены на графике (рис.3), где  $nu1$ ,  $nu2$ ,  $nu3$  – параметры направления сил воздействия на объект, задающих характер траектории.

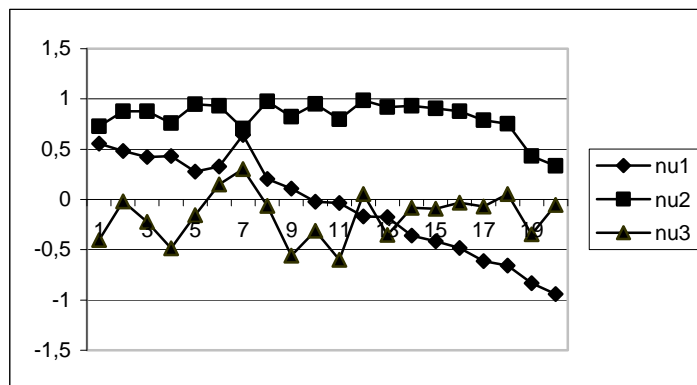


Рис.3. Диаграмма начальных параметров

Представленные графики выявили прямую зависимость эффективности распознавания от параметра  $nu1$ . Так уже на 16-ом наборе параметров проявилось снижение эффективности распознавания.

Последующие наборы параметров давали нераспознаваемые либо хаотичные траектории.

График временной сложности (по результатам тестирования) алгоритма представлен на рис.4. Таким образом, удалось установить границу эффективности алгоритма и его временную зависимость от начальных параметров.

На рис.5. представлен результат распознавания. На вход подается «идеальный» случай, при котором отсутствуют дефекты траекторий, такие как пропуски и присутствует объект класса «несуществующая область».

На рис.6. представлено изображение с дефектами траекторий и результат работы алгоритма восстановления и распознавания траекторий.

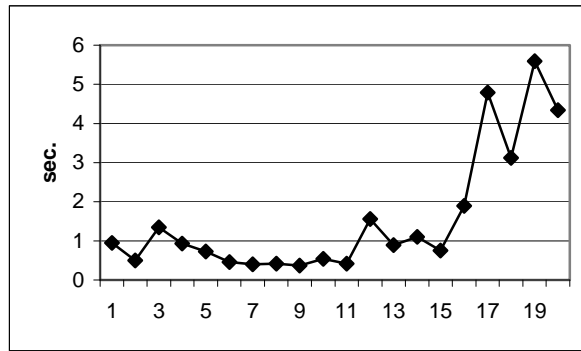
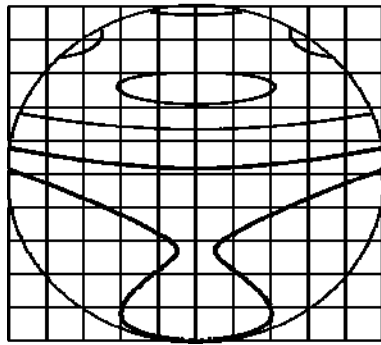
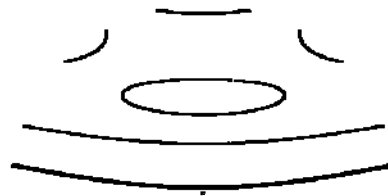


Рис.4. Диаграмма временной зависимости

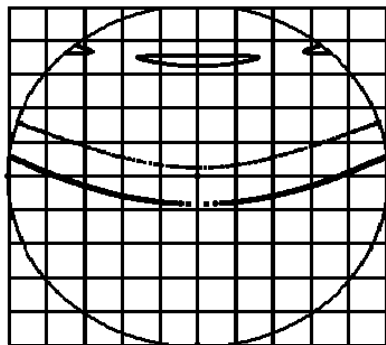


а



б

Рис.5. Экземпляр проекции на сфере Пуассона с несуществующей областью (а) и результат распознавания траекторий (б).



а



б

Рис.6. Экземпляр проекции на сфере Пуассона с дефектом (а) и результат распознавания траекторий (б).

**Выводы.** В работе предложен метод распознавания одной или нескольких замкнутых кривых, которые представляют собой траектории, построенные с помощью двумерных сечений Пуанкаре на сфере Пуассона. Метод заключается в предварительной обработке изображения (устранение шума и автопостроение незавершенных траекторий) и поиске траекторий с помощью алгоритма заливки. В дальнейших исследованиях предложенный метод может быть усовершенствован по показателям временной сложности и эффективности.

Предложенный метод может быть использован как один из способов в решении задач распознавания траекторий, смоделированных в рамках задач хаотической динамики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гашененко И.Н. Огибающие поверхности в задаче о движении тяжелого гиростата. Механика твердого тела. – Д.: ИПИИ, 2002. – С.39-49
2. Ручкин К.А. Методы компьютерного моделирования и анализа решений задач хаотической динамики. – Д.: ИПИИ, 2004. –№4.
3. Гашененко И.Н., Лапенко С.В., Ручкин К.А. Визуальное моделирование хаотической динамики тяжелого твердого тела. – Д.: Укр.матем.конгр., 2001. – С.14-15.
4. Forsyth D., Ponse D. Computer Vision: A Modern Approach — М.: «Вильямс», 2004. — 928 с.
5. Литвин С.С., Ручкин К.А. Построение классификатора в задаче распознавания хаотических траекторий. – Д.: ИПИИ., 2010. – С.236-240.