

## Анализ движения потенциально опасных околоземных астероидов и поиск способов предотвращения их столкновения с Землей

Рауль Карачурин и Сергей Тимофеев

### Введение

Столкновение с астероидом является одной из причин массовых вымираний на Земле. Астероид называется потенциально опасным (Potentially Hazardous Asteroid, PHA), если он обладает орбитой, допускающей приближение к Земле на опасное расстояние, и имеющий достаточно большие размеры, чтобы столкновение вызвало ущерб. На данный момент известно более 1800 потенциально опасных астероидов, из них более 150 больше километра в диаметре, которые при падении выделяют энергию в объеме более 30000 мегатонн тротилового эквивалента (самая мощная испытанная бомба – 60 мегатонн).

Сближения астероидов с Землей происходят каждый год. В течение 2017 года пять новых астероидов пролетали на расстоянии менее 10 радиусов Земли (менее 65 тысяч км), а также близко к Земле пролетел астероид (3200) Фаэтон диаметром более 5,1 км. К счастью, недостаточно близко, чтобы упасть на Землю. Тем не менее, столкновения с крупными астероидами неизбежны, и их необходимо научиться предсказывать и предотвращать.

Целью нашего проекта является разработка метода изменения орбиты опасных околоземных астероидов с целью предотвращения их столкновения с Землей. Подтверждение работоспособности и эффективности метода по сравнению с существующими решениями путем астродинамических вычислений.

### Техническое решение

Одним из наиболее простых и в то же время эффективных методов изменения орбит опасных астероидов является кинетический таран (основываясь на [отчет NASA](#), проведенный в 2007 году). В этом методе астероиду передается импульс в результате удара по нему космическим аппаратом, который приводит к изменению орбиты небесного тела для перевода его на безопасную орбиту или захоронения на крупном небесном теле. Данный метод является принципиально одноразовым, передаваемый импульс не подлежит корректировке, что может привести к неудаче в результате неправильной оценки массы астероида.

Для улучшения данного метода мы решили использовать модульную систему космического аппарата (КА). Он состоит из 3-х основных частей:

1. Орбитальный модуль (ОМ)
2. Двигательный модуль (ДМ)
3. Модуль с блоками для удара «Ударный» (УМ)

Использование дискретного набора «ударных блоков» в УМ позволяет дозировать передаваемый импульс и гибко подстраиваться под размер астероида, а также делает систему многоразовой. После успешного изменения орбиты одного опасного астероида КА будет перенаправлен к другой цели, также при неудаче, возможно повторное изменение орбиты астероида для достижения целевой траектории.

КА предлагается оснастить ионными двигателями, что позволит проводить неоднократные коррекции траектории при подлете к астероиду. Высокий удельный импульс (в более чем 10 раз больше, чем у жидкостных ракетных двигателей) позволяет расширить возможности по изменению орбиты, а также позволит запускать аппарат, используя одну ракету тяжелого класса (такие как Протон-М, Ангара-А5, Falcon 9 и другие), при этом не сокращать возможности по изменению траекторий астероидов. Важно отметить, что двигатели этого типа уже разработаны, испытаны и успешно используются в действующих космических аппаратах. [Методика](#)

- 1) Для оценки опасности столкновения, используются данные JPL NASA.
- 2) Для расчетов близких сближений всех известных околоземных астероидов друг с другом, использовалось специализированное программное обеспечение Solex, использующее численное интегрирование и учитывающее влияние всех крупных тел Солнечной системы на движения объектов.
- 3) Таким образом, мы получили более 8 млн близких сближений и, используя разработанный нами метод поиска наиболее удачных сближений, мы вычислили:
  - a) Возможные сценарии предотвращения столкновений, используя наш метод
  - b) Возможные последствия столкновения для каждого конкретного случая, в частности энергию, высвобождающуюся при столкновении (вплоть до нескольких сотен гигатонн в тротиловом эквиваленте, что приведет к серьезным последствиям для планеты)
- 4) Для поиска наилучшей траектории, мы разработали ПО, используя усовершенствованный нами эволюционный алгоритм, который сокращает время расчетов и увеличивает сходимость

## Результаты

Нами была создана и распечатана объемная модель, демонстрирующая технические решения, используемые в КА. Проведен анализ возможных последствий падения астероида на Землю, выявлены наиболее опасные астероиды, вычислены необходимые изменения их орбит для достижения безопасной для населения Земли траектории. Проведены расчеты возможностей космического аппарата по изменению орбиты астероидов, что подтвердило работоспособность системы.

Предлагаемая нами схема технически и финансово реализуема в разумное время и является более эффективной по сравнению с другими предложенными методами борьбы с опасными астероидами.

# Моделирование эволюции шарового звездного скопления

Петрухин Павел

ГБОУ «Школа № 1533 (ЛИТ)»

Научный руководитель: Сергей Викторович Репин, сотрудник отдела теоретической астрофизики Астрокосмического центра ФИАН

Направление: **Информатика**

**Цель работы:** Провести вычислительный эксперимент по расчету эволюции шарового звездного скопления.

**Введение:** В истории нередки случаи, когда математикам и программистам, создававшим математические модели слабоизученных объектов, удавалось предсказать их свойства и поведение до того, как их открытия были подтверждены учеными-экспериментаторами. Именно поэтому ведущей целью данного проекта является создание наиболее точной модели эволюции шаровых звездных скоплений.

**Целевая аудитория и актуальность:** Целевой аудиторией являются сотрудники научных учреждений. Для них программная модель будет служить одним из методов изучения звездных скоплений, благодаря которому появится возможность наблюдать эволюцию систем большого количества тел на протяжении астрономических интервалов времени.

**Методы решения задач:** Гравитационная задача  $N$  тел. Используется математическая модель шарового скопления.

Формулировка:

В пустоте находится  $N$  материальных точек, для каждой из которых известны начальные параметры: масса, координаты в пространстве и скорость. Требуется определить скорости и положения всех тел в определенный момент времени, если их взаимодействие описывается законом тяготения Ньютона и силы гравитации аддитивны.

Для решения задачи был реализован алгоритм интегрирования уравнений движения  $N$  тел. Он обладает высокой точностью за счет динамического вычисления шага по времени.

Алгоритм был реализован в двух вариантах (по технологии dll), написанных на языках Fortran и CUDA. Это позволило добиться высокой производительности, что особенно заметно в случае с использованием технологии параллельного программирования CUDA.

При вычислениях на видеокарте удалось получить программное ускорение в сотни раз. Это сыграло важнейшую роль в эффективности реализации модели, так как при последовательном выполнении программы скорость вычислений была пропорциональна квадрату размерности задачи, что серьезно ограничивало возможный диапазон количества тел.

В результате удалось ускорить процесс вычисления на больших размерностях задачи, а также расширить диапазон возможных значений для количества тел.

Корректность алгоритма была проверена с помощью программы MATLAB. Был произведен визуальный анализ траекторий для систем тел с известной эволюцией, например, Солнце – Земля – Луна.

В процессе работы было замечено, что тела могут находиться на относительно малом расстоянии друг от друга (близкие прохождения). В случае со звездными скоплениями было принято решение реализовать модель слияния двух звезд в одну, если расстояние между ними становится меньше, чем физические размеры реальных звезд.

Для увеличения точности вычислений было также реализовано приближенное (ошибка пренебрежимо мала) сохранение законов энергии и импульса.

Следующим шагом стала визуализация полученных данных. Её основой стала технология создания оконных приложений для системы Microsoft Windows – Windows Forms. Была реализована возможность взаимодействия пользователя с анимацией объектов (например, вращение скопления относительно вертикальной оси).

**Результаты проекта:** В результате работы над проектом была создана модель, способная с высокой точностью описывать эволюцию звездной системы. Развитием проекта станет исследование и моделирование явления испарения шаровых звездных скоплений.

#### **Список литературы:**

Орлов В.В., Рубинов А.В. Задача N тел в звездной динамике СПб, ВВМ, 2008, 175 с.

CUDA by Example: An Introduction to General-Purpose GPU Programming, Jason Sanders, Edward Kandrot.

Герберт Шилдт - C# 4.0: Полное Руководство.

Programming: Principles and Practice Using C++, Bjarne Stroustrup.

## Секция «Математика»

Секция: Математика

МБОУ «Физико-математический лицей» г. Сергиев Посад  
141300, Московская обл., г. Сергиев Посад, ул. К. Маркса, д.3  
тел.: (496)540-45-48; E-mail: sp1000@yandex.ru

Примеры треугольников Шарыгина

Тихонова Мария

Класс:11

141370, Московская обл., г. Хотьково, ул.Новокомьякинская, д.13а  
тел.:(985)196-70-36; E-mail: mashunya200029@mail.ru

Научный руководитель: Забавин Валерий Николаевич, начальник лаборатории 12 ЦНИИ  
МО РФ, доктор физико-математических наук

### Примеры треугольников Шарыгина

Известно, что если основания медиан (высот) данного треугольника являются вершинами равнобедренного треугольника, то и данный треугольник - равнобедренный. И.Ф. Шарыгин доказал [1], что существуют неравнобедренные треугольники, для которых треугольник с вершинами в основаниях биссектрис (биссектральный треугольник) равнобедренный (такие треугольники мы будем называть треугольниками Шарыгина). В своей статье в журнале [2] автор сообщил, что "не сумел построить конкретный пример треугольника (т.е. точно указать величины всех его углов или длины сторон) со столь экзотическим свойством", и выразил надежду, что это удастся читателям.

**Цель работы** - построить пример треугольников Шарыгина с замечательными углами и с целыми сторонами. В работе использовались книги [1-4]; на основе [1] и [2] сформулирована цель работы; в [3] найдено условие равнобедренности биссектрального треугольника; в [4] найден способ решения уравнения, возникшего в процессе работы, в рациональных числах.

**Вывод.** Построены примеры неравнобедренных треугольников, для которых биссектральный треугольник равнобедренный:

1) треугольник с углами:  $\pi/7, 2\pi/7, 4\pi/7$  ;

2) треугольник с целыми сторонами; доказано, что таких треугольников бесконечно много.

**Список литературы** 1.И.Ф.Шарыгин. Задачи по геометрии. Планиметрия. Библиотечка "Квант". Вып.17.-М.:Наука,1982 . 2.И.Ф.Шарыгин. Вокруг биссектрисы//Квант.-1983.-№8. 3.И.А.Кушнир. Геометрия. Поиск и вдохновение. - М.:МЦНМО,2013. 4.В.В.Острик, М.А.Цфасман. Алгебраическая геометрия и теория чисел: рациональные и эллиптические кривые. Библиотека " Математическое просвещение ". Вып.8-М.: МЦНМО,2005.

#### **Секция «Робототехника»**

#### **КВАДРОПЕДИПУЛЯТОРНАЯ БИОМОРФНАЯ ШАГАЮЩАЯ ПЛАТФОРМА**

Архипова Александра Сергеевна

МАОУ ЛНИП, г. Королёв, 11 класс

Регион: Московская обл.

Населенный пункт: г. Королёв

Научный руководитель: Смородин Д.И., преподаватель ЦДО "Кванториум", г. Королёв

Секция: Робототехника

В современном мире активно развивается робототехника, в связи с этим, нами поставлена цель: разработать квадропедипуляторную биоморфную шагающую платформу, способную к воспроизведению естественных локомоций животных.

Преимущество ходьбы, как способа передвижения очевидно: горные серны с лёгкостью взбираются по крутым склонам, а многотонные слоны осуществляют длительные переходы по пересеченной местности. Поэтому транспортные системы и

роботы, способные к шаганию, будут обладать большей проходимостью, чем колесная и гусеничная техника в условиях бездорожья, в зонах техногенных и природных катастроф. На данный момент уже создан квадропедиупуляторный робот-транспортёр (LS3), робот собака (Spot), робот кот (Wildcat). В перспективе шагающие роботы будут участвовать в исследовании иных планет, а также помогать нам в быту. Однако современные роботы не обладают должной энергоэффективностью, а их локомоции отличаются от живых аналогов, что ограничивает область их применения. В начале реализации проекта мы выдвинули гипотезу: если конструкция шагающей платформы будет точнее воспроизводить природный аналог – четвероногое животное и копировать алгоритмы естественных локомоций, то ее ходьба стане более естественной, а энергоэффективность возрастет.

Материалы и методическую помощь в реализации проекта предоставил ЦДО «Кванториум». На его базе с использованием лазерного резака, 3D-принтера, паяльной станции, сверлильного и шлифовального станков изготавливались наши конструкции. Применены электронные составляющие: Arduino UNO в качестве микроконтроллера и платы дополнительных функций, стабилизаторы напряжения, сервоприводы, аккумуляторы. Использовалась программа 3D моделирования «КОМПАС», «ServoStudio» для управления сервоприводами и среда программирования «Arduino IDE». Изучение локомоций животных и достижений современной робототехники проведено по литературе и публикациям в сети интернет. В экспериментах на моделях и прототипах отработывалась реализация алгоритмов естественных локомоций животных.

В начале реализации проекта изготовлен прообраз модели шагающей платформы с двумя педиупуляторами из деревянных спиц, соединенных сервоприводами TowerPro Micro Servo SG90 (Рис.1), на котором я научилась работать с электроникой. Далее из фанеры на лазерном резаке изготовлена экспериментальная модель квадропедиупуляторной платформы размерами 18x9x16 см, оснащенная 8-ю сервоприводами (Рис.2). На ней отработаны некоторые алгоритмы естественных локомоций животных: приседание, прыжок, циклический алгоритм ходьбы. Затем в программе 3D моделирования разработан прототип шагающей платформы, детали которого распечатаны на 3D принтере. Конструкция имела раму и 4 педиупулятора из пластиковых трубок, в каждом по 2 степени свободы, которыми управляли сервоприводы Towerpro MG995 (Рис.3). Особенностью прототипа стали специализированные крепления и приспособления для управления сервоприводами, а также оригинальный коленный шарнир содержащий кривошип. Анализ и синтез результатов экспериментов на прототипе

позволил сконструировать квадропедиупуляторную биоморфную шагающую платформу из металла с сервоприводами DS3218 RC (Рис.4). Научно-технической новизной конструкции стало воспроизведение естественных пропорций, а также использование шарниров с гибкими элементами (Рис.5), подобных суставам животных, что ранее в технике никогда не применялось. Изначально отработка движений проводилась на специальном испытательном стенде на подвесах, а затем реализовывалось передвижение платформы по поверхности. Полученные в процессе работы над проектом данные и конструкторские решения, примененные в нашей шагающей платформе, позволяют создать биоморфного квадропедиупуляторного энергоэффективного робота и транспортную систему, способных воспроизводить алгоритмы естественных локомоций животных.

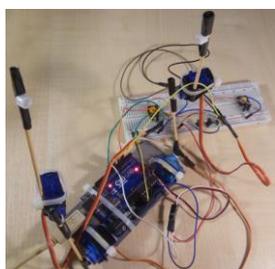


Рис. 1

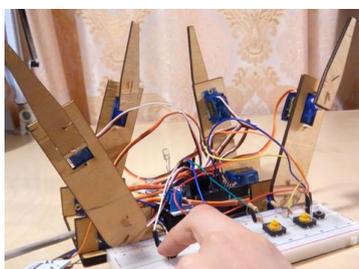


Рис. 2

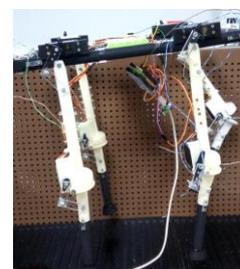


Рис. 3



Рис. 4

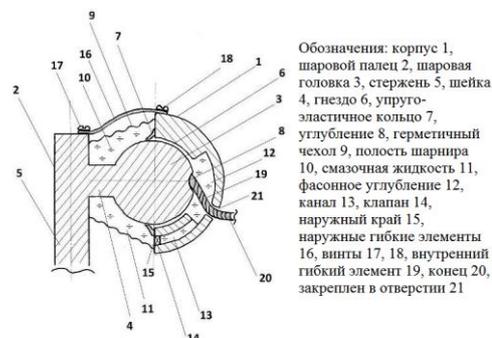


Рис.5

### СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипов С.В., Архипова А.С. Шарнир с гибкими элементами. Заявка на изобретение №2014142675/11(068934) от 22.10.2014 г.
2. Бранков Г. Основы биомеханики. М. Мир, 1981, 254 с.

3. Кобринский А.Е. Вот они – роботы. М.: Наука, 1972, 176 с.
4. Попов Е.П., Письменный Г.В. Основы робототехники. М.:Высш.шк.,1990, 224 с.
5. Филиппов С.А. Уроки робототехники. М. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017, 176 с.