Оглавление

[ВВЕДЕНИЕ 2](#_Toc325376296)

[Актуальность 2](#_Toc325376297)

[Обзор 3](#_Toc325376298)

[Виртуальный полигон 3](#_Toc325376299)

[Физика 3](#_Toc325376300)

[6-DOF тело 3](#_Toc325376301)

[Моторы 4](#_Toc325376302)

[Модель потоков газа в замкнутых пространствах 4](#_Toc325376303)

[Реализация 6](#_Toc325376304)

[CUDA реализация Навье-Стокса 6](#_Toc325376305)

[Бортовое оборудование 7](#_Toc325376306)

[Гироскоп 7](#_Toc325376307)

[Акселерометр 7](#_Toc325376308)

[Барометр 7](#_Toc325376309)

[Магнитометр 7](#_Toc325376310)

[Система глобального позиционирования 7](#_Toc325376311)

[Камеры 7](#_Toc325376312)

[Фильтры 7](#_Toc325376313)

[Средства анализа данных 7](#_Toc325376314)

[Система управления 7](#_Toc325376315)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 7](#_Toc325376316)

[БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 7](#_Toc325376317)

# ВВЕДЕНИЕ

## Актуальность

В современном мире все большее распространение получают беспилотные летательные аппараты. Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) — летательный аппарат многоразового использования без экипажа на борту.

Возможности изучения поведения БПЛА в экстремальных ситуациях экспериментальными методами сильно ограничено, как в связи с дороговизной самого аппарата, так и дороговизной ошибки, которая может возникнуть в ходе эксперимента. Поэтому для этих целей разумно использовать компьютерные эксперименты в реальном времени. Для интерпретации его результатов привлекаются технологии виртуальной реальности, обеспечивающие «погружение» исследователя в моделируемое явление с возможностью всестороннего наблюдения и анализа воспроизводимых закономерностей реального мира. В свою очередь, это стимулирует развитие нового класса проблемно-ориентированных программных комплексов для проведения вычислительного эксперимента --- виртуальных полигонов (ВП) для поддержки принятия решений в различных областях науки и промышленности. Процесс проектирования и разработки ВП требует совокупного учета особенностей методов компьютерного моделирования в конкретной предметной области и соответствующих возможностей технологий виртуальной реальности, включая специфику аппаратной реализации. Это достигается путем адаптации математических моделей для формирования предметно-зависимых визуальных динамических сцен с высоким уровнем реалистичности и достоверности.

**Степень теоретической разработанности темы**

**Цель и задачи исследования**

* Анализ математических моделей динамики четырехроторных летательных аппаратов.
* Разработка метода численного моделирования динамики групп четырехроторных летательных аппаратов с учетом взаимного влияния.
* Проектирование, разработка и отладка программно-аппаратного комплекса виртуального полигона для исследования динамики групп четырехроторных летательных аппаратов с учетом взаимного влияния.

**Область исследования**

**Объект исследования**

**Предмет исследования** является технология создания виртуального полигона применительно к задачам моделирования динамики групп четырехроторных летательных аппаратов.

**Теоретическая и методологическая основа исследования**

**Информационная база исследования**

**Научная новизна исследования**

**Практическую значимость исследования** составляет

**Апробация результатов исследования**

**Объем и структура работы**

# Обзор

# Виртуальный полигон

# Физика

## 6-DOF тело

Для построения модели распределения сил и моментов, действующих на квадрокоптер, летательный аппарат рассматривается как твердое тело с 6-ю степенями свободы. Введем параметры, описывающие положение летательного аппарата в пространстве. Для этого необходимо выбрать локальную систему координат. За начало системы локальных координат примем центр тяжести квадрокоптера, а оси расположим так, чтобы ось  была направлена между первым и четвертым двигателем квадрокоптера, ось  ­­- вверх, ось  - вправо (см. рис.).

Положение летательного аппарата в пространстве однозначно определяется кортежем из вектора положения центра тяжести и вектора вращения: , где , , где, в свою очередь , ,  - углы крена, тангажа и рысканья, соответственно, , ,  - глобальное положение центра тяжести летательного аппарата, а , ,  - орты глобальной системы координат.

## Моторы

## Модель потоков газа в замкнутых пространствах

Винты летательного аппарата создают сильные потоки воздуха, которые могут влиять на полет других БПЛА или же приводить к тому, что когда ЛА подлетает достаточно близко к стене или другому крупному объекту возникает так называемый эффект подсасывания.

Для моделирования потоков газа в замкнутых пространствах обычно используют следующие методы:

* Методы решёточных уравнений Больцмана (англ. Lattice Boltzmann methods, LBM) — класс методов вычислительной гидродинамики для моделирования жидкостей. В отличие от многих других методов, метод LBM не решает уравнения Навье — Стокса, а моделирует поток ньютоновской жидкости дискретным кинетическим уравнением Больцмана. Столкновения зачастую учитываются с помощью модели Батнагара — Гросса — Крука. Методы решёточных уравнений Больцмана удобны благодаря их концептуальной и вычислительной простоте, их использование ограничено малыми скоростями и тем, что LBM обладает неустойчивым поведением на границе подвижных тел.
* Гидродинамика сглаженных частиц (англ. Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH) — вычислительный метод для симуляции жидкостей и газов. Используется во многих областях исследований, включая астрофизику, баллистику, вулканологию и океанографию. Метод гидродинамики сглаженных частиц является не-сеточным (англ. mesh-free) лагранжевым методом (то есть координаты движутся вместе с жидкостью), и разрешающая способность метода может быть легко отрегулирована относительно переменных, таких как плотность.
* Прямое численное моделирование (англ. DNS (Direct Numerical Simulation)) — метод основан на численном решении системы уравнений Навье-Стокса и позволяет моделировать в общем случае движение вязких сжимаемых газов с учётом химических реакций, притом как для ламинарных, так и турбулентных случаев. DNS предъявляет высокие требования к вычислительны ресурсам.

Для использования в виртуальном полигоне было решено реализовать прямое численное моделирование, в связи с его простотой реализации на GPU. Уравнения Навье-Стокса — система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающая движение вязкой ньютоновской жидкости. Уравнения Навье-Стокса являются одними из важнейших в гидродинамике и применяются в математическом моделировании многих природных явлений и технических задач.

Система уравнений Навье-Стокса состоит из двух уравнений:

* уравнения движения,
* уравнения неразрывности.

В векторном виде для несжимаемой жидкости они записываются следующим образом:

 (1)

 (2)

Где  векторное поле скорости,  постоянная плотность газа,  скалярное поле давления,  вязкость газа и  представляет любую внешнюю силу, которая может воздействовать на газ, к примеру, винты летательного аппарата.

Для решения численным методом операторы градиента, дивергенции и Лапласа необходимо представить в конечно-разностной форме:

* Градиент 



* Дивергенция 



* Оператор Лапласа :

 (3)

При этом если расчет ведется на сетке и все стороны ячеек этой сетки равны, то конечно-разностную форму оператора Лапласа можно упростить до:



Уравнения Навье-Стокса можно решить аналитически только для нескольких простых физических конфигураций. Однако чтобы решить их можно использовать численные интеграционные методы. Для этого, как и любой другой алгоритм, необходимо разбить решение уравнений Навье-Стокса на несколько простых шагов. Для решения уравнений Навье-Стокса используется метод, основанный на технике “стабильных жидкостей” описанный в [Stam99]. Для начала необходимо привести уравнения к форме более подходящей для численного решения. Уравнения Навье-Стокса это три уравнения, которые мы можем решить для величин ,  и . Любой вектор  может быть разложен на несколько базовых составляющих, суммой которых будет . К примеру, векторы в декартовом пространстве обычно представляют, как три длины вдоль каждой оси: . Такой вектор так же может быть записан как , где ,  и  единичные базисные векторы выровненные по осям декартовой сетки.

# Реализация

## CUDA реализация Навье-Стокса

Моделирование потоков воздуха происходит в декартовой сетке, размер которой может варьироваться.

## Бортовое оборудование

### Гироскоп

### Акселерометр

### Барометр

### Магнитометр

### Система глобального позиционирования

## Камеры

## Фильтры

## Средства анализа данных

# Система управления

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. James F. Roberts, Timothy S. Stirling. Quadrotor Using Minimal Sensing For Autonomous Indoor Flight. 2007.

2. Haomiao Huang, Gabriel M. Hoffmann. Aerodynamics and Control of Autonomous Quadrotor Helicopters in Aggressive Maneuvering.

3. Anders Friis Sorensen. Autonomos Control of a Miniature Quadrotor Following Fast Trajectories. 2010.

4. Jorge Bardina, T. Rajkumar. Intelligent Launch and Range Operations Virtual Test Bed.

5. Qimi Jiang, Daniel Mellinger, Christine Kappeyne, Vijay Kumar. Analysis and Synthesis of Multi-Rotor Aerial Vehicles. 2011.

6. Stam, J. 1999. "Stable Fluids." In Proceedings of SIGGRAPH 1999.