

М. С. Исмаилова¹, С. А. Арбузов¹✉

Исследование возможности применения недорогих MEMS инерциальных датчиков для реализации технологии захвата движения

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: stan_i_slav84@mai.ru

Аннотация. Для анализа качества выполняемых элементов в фигурном катании используют различные методы. Существуют как визуальные методы, когда движения фиксируются при помощи камеры и затем анализируются тренером, так и автоматизированные методы, заключающиеся в применении технологии захвата движения, которая позволяет получить траектории для отдельных, закрепленных на спортсмене маркеров. Наиболее оптимальным для применения на открытых площадках является метод инерциального захвата движения с помощью датчиков IMU изготовленных на основе технологии МЭМС (микроэлектромеханическая система) [1, 2].

В настоящее время MEMS IMU широко применяются в различных областях и играют важную роль в реализации технологий виртуальной реальности, навигации, спортивной аналитики, робототехники, и т.п. Это придает MEMS IMU универсальность в использовании, и повышает актуальность их использования для реализации технологии инерциальной системы захвата движения. MEMS обладают компактными размерами и низким потреблением энергии, что позволяет сделать систему захвата движения компактной и автономной. В статье рассмотрена возможность применения модуля MEMS IMU MPU6050 для технологии захвата движения, выполнена практическая реализация технологии захвата движения с помощью MPU6050 и микроконтроллера Arduino nano. Подготовлена система проведения испытаний инерциальных датчиков, реализованная в виде маятника с оптической системой контроля траектории и скорости. Проведены испытания системы.

Ключевые слова: технологии захвата движения, инерциальные измерения, MEMS IMU, Arduino, определение траектории движения, маятник

M. S. Ismailova¹, S. A. Arbuzov¹✉

Exploring the possibility of using inexpensive MEMS inertial sensors to implement motion capture technology

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: stan_i_slav84@mai.ru

Annotation. Various methods are used to analyze the quality of elements performed in figure skating. There are both visual methods, when movements are recorded using a camera and then analyzed by a coach, and automated methods, which consist of using motion capture technology, which allows you to obtain trajectories for individual markers attached to the athlete. The most optimal method for use on open rinks is the inertial motion capture method using IMU sensors manufactured using MEMS (microelectromechanical system) technology [1, 2].

Currently, MEMS IMUs are widely used in various fields and play an important role in the implementation of virtual reality technologies, navigation, sports analytics, robotics, etc. This makes MEMS IMUs universal in use and increases the relevance of their use for the implementation of

inertial motion capture system technology. MEMS have compact dimensions and low power consumption, which allows making the motion capture system compact and autonomous. The article considers the possibility of using the MEMS IMU MPU6050 module for motion capture technology, and the practical implementation of motion capture technology using the MPU6050 and the Arduino nano microcontroller is performed. A system for testing inertial sensors has been prepared, implemented in the form of a pendulum with an optical trajectory and speed control system. The system has been tested.

Keywords: motion capture technologies, inertial measurements, MEMS IMU, Arduino, motion trajectory determination, pendulum

Введение

Детальный анализ качества выполнения упражнений является важной частью тренировок в фигурном катании. В настоящее время широко зарекомендовали себя методы захвата движения. Анализ траектории движений спортсмена с помощью технологии захвата движения повышает эффективность тренировок и позволяет улучшать результаты в различных видах спорта.

Технология захвата движения может быть реализована различными методами:

Оптический метод. Основан на использовании камер, которые регистрируют движения с помощью специальных маркеров, надетые на тело или объект. Камеры регистрируют движения маркеров и передают информацию в компьютер для дальнейшей обработки.

Механический метод. Основан на использовании подобия экзоскелета и устройств считывания движение суставов, на которых и строится модель.[3]

Метод, основанный на использовании датчика глубины, особых устройств, определяющих положение объекта по изменению окружающего светового рисунка. Как правило, используются для сканирования лица актера и представляют из себя шлем с 1 или 2 камерами, осветительным прибором и датчиками.

Магнитный метод. Основан на использовании маркеров, которые представляют собой магниты, а приемники сканируют их положение по искажениям магнитного поля. Можно с высокой точностью измерять положение и вращение каждого конкретного сустава [4].

Инерциальный метод. Основан на использовании MEMS датчиков, которые представляют собой гироскопы, акселерометры и инерционные сенсоры, крепящиеся к костюму. Датчики определяют угловые и линейные ускорения (акселерометры - линейные, гироскопы – угловые). Магнитометры измеряют напряженность магнитного поля и ориентацию по отношению к магнитному полюсу Земли [5].

Инерциальный метод является оптимальным для больших открытых площадок, где применение внешних маяков или камер затруднено.

На сегодняшний день, появляются недорогие MEMS IMU, такие как MPU6050.

Применение сенсоров MEMS IMU имеет широкое распространение во многих сферах, таких как искусство, наука, медицина. Универсальность применения достигается благодаря их компактным размерам и возможности автономной работы.

MEMS IMU наиболее подходят для работы на больших площадках, что свойственно катанию на коньках [1–5].

Цель работы – реализовать технологию захвата движения с помощью MEMS IMU, разработать методику испытания MPU6050. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить устройство сенсоров и схему их работы;
- написать код для сбора данных с сенсора при помощи микроконтроллера Arduino nano;
- разработать устройство (маятник) для тестирования работы MPU6050;
- выполнить пробное испытание MPU6050 при помощи маятника.

Методы и материалы

В инерциальных системах захвата движения используются инерциальные измерительные блоки (IMU), содержащие комбинацию гироскопа, магнитометра и акселерометра для измерения скорости вращения и ускорения. Информация поступает от инерциальных датчиков, которые размещаются на ключевых точках человека или объекта. Данные о перемещении инерциальных датчиков передаются на компьютер, где движение записывается на носитель или просматривается оператором [6, 7].

Для реализации инерциальной системы захвата движения, в работе был использован инерциальный измерительный модуль MPU6050, контроллер Arduino nano, модуль Arduino micro SD Card и элемент питания, обеспечивающий подачу питания и автономную работу системы (рис. 1). Измерительный модуль MPU6050 позволяет получать данные об ускорениях и угловых скоростях по трем осям.

Параметры модуля MPU6050 представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры модуля MPU6050

Характеристики	Параметры
Напряжение питания	от 3,5 В. до 6 В.
Диапазон гироскопа	$\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000$ °/с.
Диапазон акселерометра	$\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$ g.
Интерфейс связи	I2C.
Размер	$21 \times 16 \times 3$ мм.
Вес	2 г.

Модуль Arduino micro SD Card необходим для записи данных о передвижении на SD-карту. Для управления компонентами системы был использован контроллер Arduino nano.

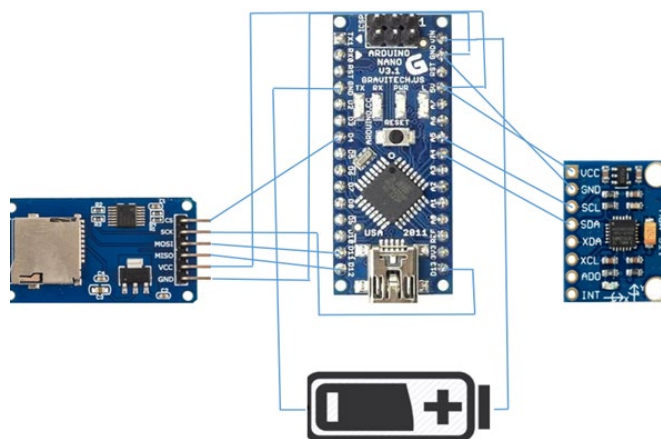


Рис. 1. Схема подключения компонентов системы

Для контроллера Arduino nano, в интегрированной среде разработки Arduino ide, был написан код (рис. 2), обеспечивающий работу системы. Для написания кода использовались библиотеки (MPU6050.h, Wire.h, imu_filter.h, I2Cdev.h, MadgwickAHRS.h, SPI.h, SD.h, TimeLib.h) [8].

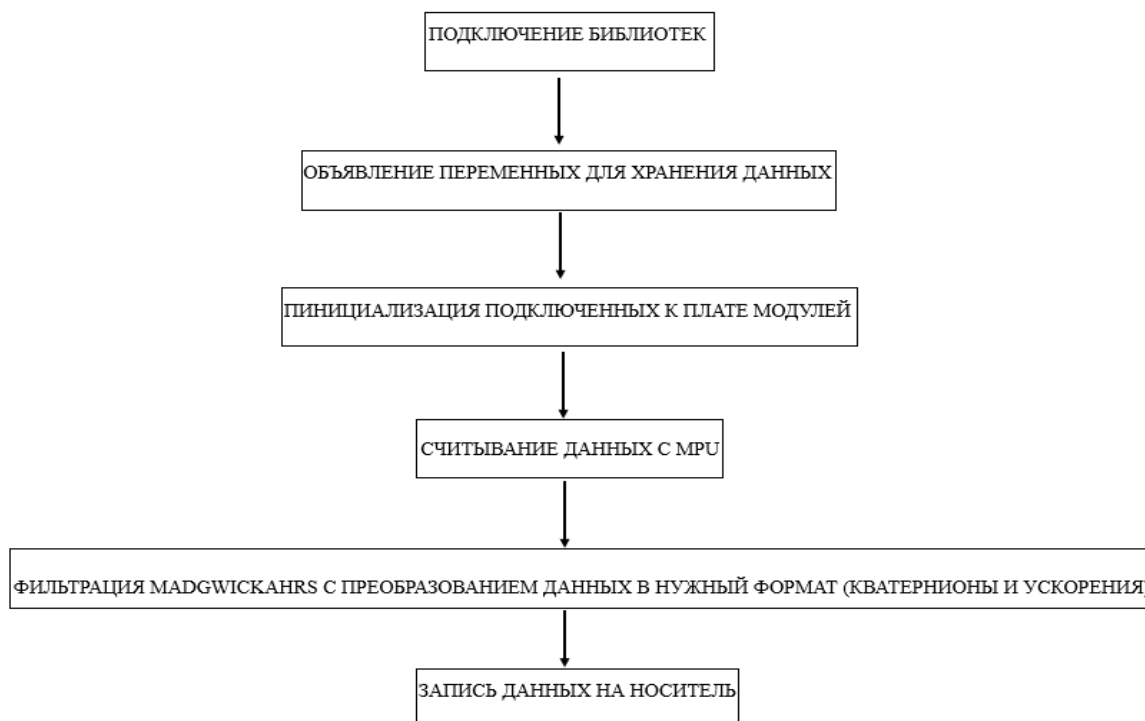


Рис. 2. Структура кода

Для оценки точности созданной системы инерциального захвата движения был сконструирован маятник (рис. 3), состоящий из алюминиевого профиля, закрепленного на оси с подшипниками. Данная конструкция обеспечивает свободные колебания в одной плоскости. К профилю, прикреплены все компоненты

системы захвата движения (контроллер Arduino, MPU6050, модуль aArduino micro SD Card, элемент питания).

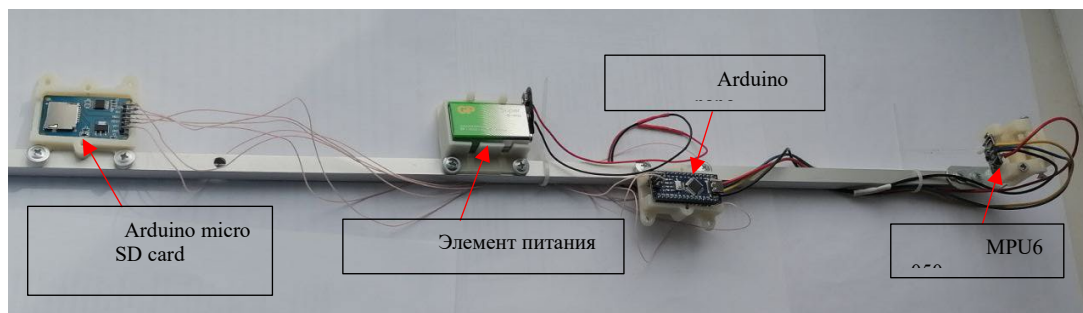


Рис. 3. Устройство маятника

Для крепления на маятнике модуля MPU6050 использовался держатель, полученный аддитивным методом из АБС пластика, позволяющий менять угловое положение модуля (рис. 4).

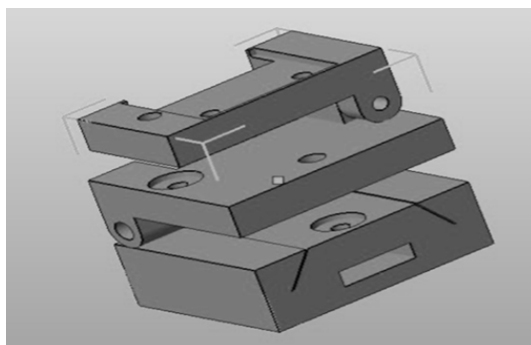


Рис. 4. Держатель для MPU6050

Результаты

Эксперимент проводился путем фиксирования колебаний маятника, с помощью размещенной на нем системы захвата движения с MPU6050. Также колебания маятника фиксировала установленная напротив, камера с инфракрасным светофильтром (рис. 5).

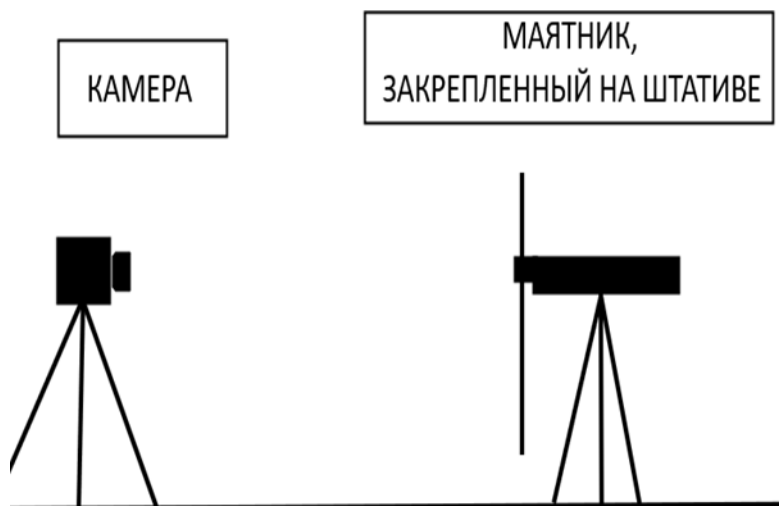


Рис. 5. Схематическое изображение экспериментальной установки

В результате испытаний были получены наборы данных, содержащие в себе линейные и угловые ускорения и моменты времени, соответствующие каждому значению. Для каждого момента времени было рассчитано угловое положение датчика, описываемое кватернионами. Полученные ускорения позволили рассчитать пройденный путь датчика, а кватернионы, ориентацию датчика в пространстве в определенные моменты времени. Кватернион – это вектор, который описывает поворот вокруг произвольной оси без ограничений и сингулярностей, свойственных углам Эйлера [9]. По полученным данным была выполнена визуализация траектории движения с помощью программы, написанной на языке MATLAB.

Результаты визуализации траектории движения MPU6050 представлены на рис. 6.

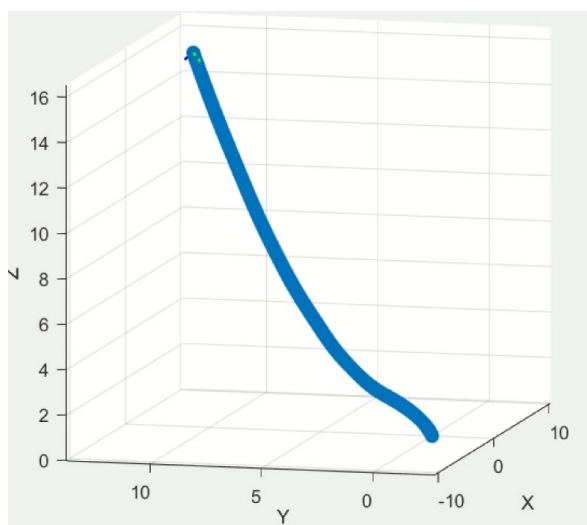


Рис. 6. Визуализация траектории MPU6050

Эталонные траектории были получены при помощи обработки видео с камеры, установленной на штативе напротив маятника. Камера снабжена инфракрасным светофильтром, а на MPU6050 был установлен инфракрасный светодиод. При обработке видео считывался каждый 10 й кадр, выполнялась пороговая сегментация, определялись координаты центроида, полученного бинарного изображения, по которым рисовалась точка на графике. Из точек формируется траектория, а по интервалам между точками, можно определить скорость движения маятника. График траектории движения маятника представлен на (рис. 7).

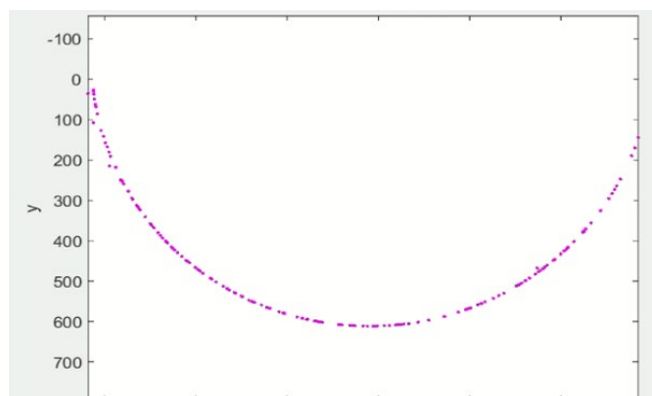


Рис. 7. Траектория движения маятника

Обсуждение

Элементы фигурного катания различаются по динамике. Существуют упражнения динамичные, отличающиеся значительными ускорениями и упражнения, выполняемые достаточно плавно, почти без ускорений. Система захвата движения должна одинаково хорошо описывать траекторию как быстрых, так и медленных движений. Изменение характера движения может приводить к изменению точности моделирования траектории инерциальным датчиком, поэтому на разработанном стенде планируется выполнить серию испытаний с имитацией ускорений свойственных различным элементам фигурного катания.

Для планирования серии экспериментов была определена максимальная и минимальная скорости исполнения упражнений по съемке с видеокамеры. Например, по результатам испытаний выявлено, что для вращательных элементов максимальная скорость движения составляет 1,5 оборота в секунду, при этом на прыжковых элементах максимальная скорость вращения около 1 оборота в секунду.

В случае получения положительных результатов, на основе датчиков MPU6050 будет спроектирован и испытан непосредственно на катке прототип инерциальной системы захвата движения.

Заключение

В результате проведенного исследования была реализован испытательный стенд для тестирования MEMS IMU и разработана методика испытания MPU6050.

Решены следующие задачи:

- изучено устройство сенсоров и схема их работы;
- написан код для сбора данных с сенсора при помощи микроконтроллера Arduino nano;
- разработано устройство (маятник) для тестирования работы MPU6050;
- выполнено первое тестирование MPU6050.

Анализ построенных графиков показал необходимость проведения дальнейших испытаний. В случае положительных результатов, планируется реализовать инерциальную систему захвата движения и выполнить ее испытание на катке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vlastic D., Adelsberger R., Vannucci G., Barnwell J., Gross M., Matusik W., Popovic J. Practical Motion Capture in Everyday Surroundings // Journal ACM Transactions on Graphics (TOG). — 2007. — vol. 26, Issue 3, pp. 35:1–35:9.
2. Захаров Д.Н., Куровский Д.М., Ракшин Е.А., Борисов О.И., Громов В.С., Колюбин С.А. Моделирование и управление движением роботов. Учебно-методическое пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2023. – 84 с.
3. Башмаков А.И. Технологии захвата и анализа движения в биомеханике // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 5. – С. 82–88.
4. Бессонов В.А. Технологии захвата движения (motion capture): современные решения и перспективы // Информационные технологии. – 2021. – № 7. – С. 24–30.
5. Матвеев В. В., Распопов В. Я. Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации на МЭМС-датчиках. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – 225 с.
6. Kitagawa M., Windsor B. MoCap for Artists: Workflow and Techniques for Motion Capture. — Oxford, England: Focal Press, 2008. – 216 p.
7. Ефанов А.М., Назаров В.В. Структура и кинематика манипуляторов. Методические указания к курсовому проектированию по ТММ. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006. – 39 с.
8. Блум Дж. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства. 2-е изд.: пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2020 – 529 с.
9. Беляева Е.В., Кириллова А.В. Применение Motion Capture для анализа двигательной активности // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2018. – № 4 (341). – С. 193–203.

© М. С. Исмаилова, С. А. Арбузов, 2025