

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ В DIY: МОДУЛЬНЫЙ ДЖОЙСТИК С ТЕХНОЛОГИЕЙ ДАТЧИКОВ ХОЛЛА И ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ ТРИГГЕРОМ

Мұрат Бекежан Талғатұлы

bekezhan.murat.2021@gmail.com

Студент образовательной программы «6B06102 - Вычислительная техника и программное обеспечение», Университет «Туран», Алматы, Казахстан
Научный руководитель - Ж.А. Муканова

Современный рынок предлагает широкий выбор джойстиков для авиасимуляторов от разных производителей, таких как Logitech, Thrustmaster, FR-Тес и др. [1]. Данные джойстики ориентированы на пользователей с различным уровнем подготовки и бюджетом. Однако соотношение цены и качества, реалистичность механизмов, долговечность компонентов и ограниченные возможности кастомизации могут сделать выбор джойстика сложной задачей для пользователя. Для оценки этих показателей были проанализированы некоторые модели джойстиков на рынке. Они были разделены на три категории по цене: бюджетный сегмент - Logitech Extreme 3D Pro (\$34.99 [2]), средний ценовой сегмент - Thrustmaster T16000M (\$69.99 [3]) и премиум-сегмент - Thrustmaster Hotas Warthog Flight Stick (\$349.99 [4]).

Целью данного исследования является разработка модульного джойстика, который может быть адаптирован к потребностям пользователей, что позволит расширить возможности персонализации и повысить уровень погружения в авиасимуляторы. Модульная конструкция джойстика позволяет ему развиваться от бюджетного варианта до премиум-сегмента.

Анализ рынка HOTAS джойстиков показывает, что бюджетные модели не обеспечивают достаточной реалистичности и погружения, а модели среднего и высокого уровня требуют значительных инвестиций. Был выявлен следующий проблем:

1) Механизм триггера. В реалистичных джойстиках используется двухступенчатый спусковой крючок, который обеспечивает более реалистичные ощущения. Этот механизм редко встречается в бюджетных моделях [5].

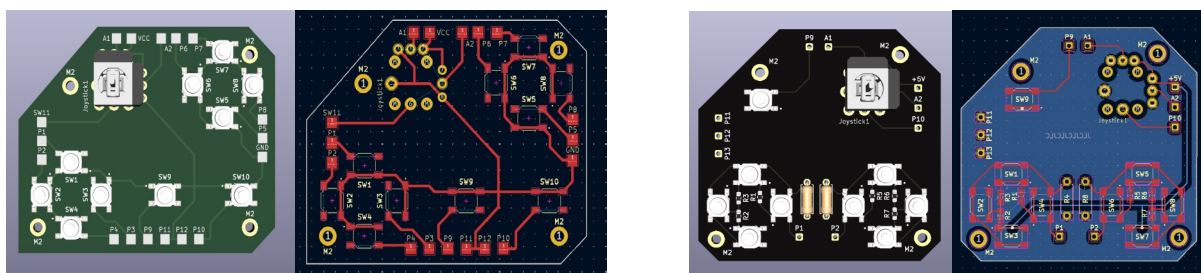
2) Долговечность. Джойстики низкого уровня со временем теряют точность из-за износа потенциометров [6, 7]. Датчики Холла более надежны и обеспечивают стабильность и точность измерений на длительный срок. Такой подход позволяет повысить качество джойстиков низкого уровня, что делает их сопоставимыми с моделями высокого уровня, сохраняя доступность для пользователей.

3) Модульность и кастомизация. Традиционные джойстики низкого уровня не имеют модульной конструкции, что ограничивает возможности кастомизации. Такой подход открывает потенциал для глубокой кастомизации каждой части устройства под конкретного потребителя.

Разработка джойстика велась итеративно, с поэтапным улучшением через создание прототипов и их тестирование [8]. Это позволило выявить и устранить ошибки на ранних стадиях. Печатные платы (PCB) для джойстика были разработаны в KiCad. Это решение обусловлено функциональностью KiCad и активным сообществом пользователей [9]. 3D-моделирование модульных компонентов джойстика выполнялось в Fusion 360. Затем модели были напечатаны на FDM-принтере. Для отслеживания движений используются датчики Холла SS495A и неодимовые магниты. Обработка сигналов происходит на плате ESP-WROOM-32 с 12-битным АЦП, что обеспечивает более высокую точность по сравнению с Arduino Pro Micro и Leonardo. Высокая точность важна для корректного считывания данных с сенсора. Для стабилизации данных применяется скрипт с калибровкой и фильтрацией шумов [10].

Ключевым компонентом джойстика служит самодельная печатная плата, оптимизированная по габаритам и производительности. Первоначальный дизайн платы (рис.

1а) был доработан для реализации однослойного GND и усовершенствования схемы считывания информации с кнопок (рис. 1б). Применение резисторов перед кнопками сократило число требуемых цифровых пинов на плате ESP-WROOM-32, что упростило конструкцию и повысило ее надежность.

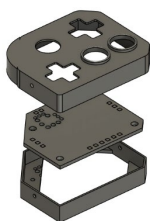


а)

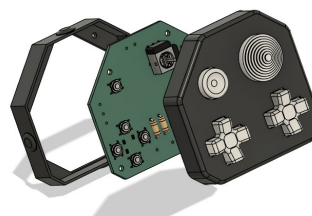
б)

Рисунок 1. Печатная плата:
а) первоначальный дизайн; б) обновленный дизайн

На основе форм-фактора РСВ были разработаны модульные компоненты. Исходная конструкция (рис. 2а) была доработана в ходе итераций, что позволило получить усовершенствованную версию (рис. 2б).



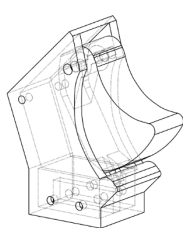
а)



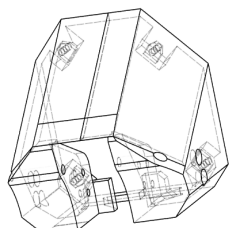
б)

Рисунок 2. Дизайн корпуса элементов управления:
а) первоначальный дизайн; б) обновленный дизайн

Следующим этапом стало проектирование двухступенчатого триггера и корпуса. Первые версии имели ряд проблем: ошибки размеров, неполадки механизма, хрупкость и неудобство захвата (рис. 3а). Детальная проработка дизайна и испытания позволили создать оптимальную форму (рис. 3б).



а)



б)

Рисунок 3. Дизайн двухступенчатого триггера и корпуса:
а) первоначальный дизайн; б) обновленный дизайн

Эргономика рукоятки, играющая ключевую роль в удобстве захвата, была оптимизирована с учетом анатомии ладони, что позволило создать универсальную форму (рис. 4).

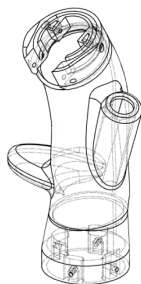


Рисунок 4. Дизайн рукоятки

С целью обеспечения модульности и расширения функциональных возможностей механизм по оси рыскания был адаптирован и оптимизирован, что позволило рычажному элементу с датчиком Холла реагировать на движения по оси Y и интуитивно возвращаться в исходное положение благодаря пружинам (рис. 5).

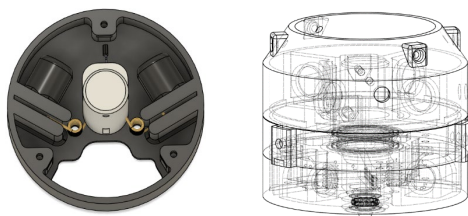


Рисунок 5. Реализация механизма по оси рыскания

Разработка механизма гимбала для управления по осям тангажа (Pitch) и крена (Roll) также производилась с применением итеративного подхода (рис. 6).



Рисунок 6. Реализация гимбал механизма

Уникальность гимбала заключается в точной регулировке местоположения магнитов по отношению к датчику Холла через ходовой винтовой механизм [11], обеспечивая высокую точность сбора данных (рис. 7).

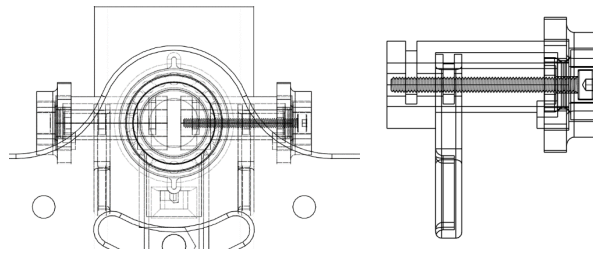


Рисунок 7. Реализация ходового винтового механизма магнитов

В рамках разработки джойстика был написан специализированный скрипт для обработки данных, обеспечивающий калибровку устройства (рис. 8) и сглаживание сигналов датчиков с помощью метода скользящего среднего (рис. 9). Скрипт осуществляет контроль входных сигналов от кнопок и осей через ESP-WROOM-32, реализуя функции точной калибровки и стабилизации данных. Калибровка активируется с помощью специальной кнопки, фиксируя крайние и нейтральные значения по каждой оси. Это обеспечивает высокую точность реакции джойстика на действия пользователя. Скрипт также адаптирует данные для совместимости с игровым движком Unity, позволяя демонстрировать функционал управления в виртуальном пространстве.

```

143 void calibration(int pin, AxisCalibration &cal){
144 // method that collects 30 units of raw data when magnet is not applied
145 // and calculates the rawNeutral and deadZone
146 calculatedNeutral(pin, cal);
147 cal.deadZone = calculatedDeadZone(cal);
148
149 Serial.print("rawNeutral: "); Serial.println(cal.rawNeutral);
150 Serial.print("rawNeutralMin: "); Serial.println(cal.rawNeutralMin);
151 Serial.print("rawNeutralMax: "); Serial.println(cal.rawNeutralMax);
152 Serial.print("deadZone: "); Serial.println(cal.deadZone);
153
154 Serial.println("Prepare to measure extreme points...");
155
156 measuringProcess(pin, cal, true);
157
158 Serial.print("Min point:"); Serial.println(cal.min);
159 Serial.print("Max point:"); Serial.println(cal.max);
160 }

```

Рисунок 8. Функция калибровки

```

330 void updateMovingAverage(SensorData &data, int newReading) {
331 // Subtract the oldest reading from the total and remove it from the array
332 data.total -= data.readings[data.readIndex];
333 // Add the new reading to the total and the array
334 data.readings[data.readIndex] = newReading;
335 data.total += newReading;
336 // Move to the next position in the array
337 data.readIndex = (data.readIndex + 1) % data.windowSize;
338
339 // Calculate the new average
340 data.average = data.total / data.windowSize;
341 }

```

Рисунок 9. Функция фильтра скользящего среднего

Представленный в статье джойстик является примером успешного применения итеративного подхода к разработке. Он демонстрирует, как с помощью 3D-печати, датчиков и программирования можно создавать функциональные и эргономичные устройства. Модульная конструкция и новаторский механизм управления обеспечивают адаптивность и улучшают взаимодействие, что делает проект привлекательным для энтузиастов. Проект позволяет адаптировать контроллер под индивидуальные потребности пользователей и прокладывает путь к дальнейшим разработкам в области игровых устройств. Проект имеет большое значение для DIY-сообщества, предоставляя ресурсы для обмена знаниями и стимулируя инновации. А также демонстрирует, как с помощью доступных технологий и

творческого подхода можно улучшить игровое оборудование, стимулируя развитие технических навыков и поддерживая культуру инноваций.

Список использованных источников

1. Best PC joysticks in 2024. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.pcgamer.com/the-best-pc-joysticks/> (Дата обращения: 08.01.2024). (In English)
2. EXTREME 3D PRO JOYSTICK. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.logitechg.com/en-us/products/space/extreme-3d-pro-joystick.963290-0403.html> (Дата обращения: 08.01.2024). (In English)
3. T.16000M FCS Hotas. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.thrustmaster.com/en-us/products/t-16000m-fcs-hotas/> (Дата обращения: 08.01.2024). (In English)
4. HOTAS Warthog™ Flight Stick. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.thrustmaster.com/products/hotas-warthog-flight-stick/> (Дата обращения: 08.01.2024). (In English)
5. Thrustmaster – HOTAS Warthog Review. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.simflight.com/2018/12/28/thrustmaster-hotas-warthog-review/> (Дата обращения: 08.01.2024). (In English)
6. How Hall-effect sensors can make better joysticks. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.electronicproducts.com/how-hall-effect-sensors-can-make-better-joysticks/#:~:text=While%20potentiometer%20joysticks%20are%20a,it%20comes%20to%20voltage%20availability> (Дата обращения: 08.01.2024). (In English)
7. Lu H. et al. Novel hall-sensor joystick based on nonlinear compensation //2006 IEEE International Conference on Information Acquisition. – IEEE, 2006. – С. 1132-1137. DOI: 10.1109/ICIA.2006.305904.
8. Heck S. T. Evaluation of Adoptability: The Iterative Development of an Energy Production Device for the Middle School Classroom. – 2015.
9. About KiCad. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.kicad.org/about/kicad/> (Дата обращения: 08.01.2024). (In English)
10. Mukanova Z., Atanov S., Jamshidi M. Features of Hardware and Software Smoothing of Experimental Data of Gas Sensors //2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). – IEEE, 2021. – С. 1-6.
11. Vahid-Araghi O., Golnaraghi F. Friction-induced vibration in lead screw drives. – Springer Science & Business Media, 2010.