

УДК 62-503.55

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ С ЧПУ

Алексеев М.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры»*

*Научный руководитель: Арабов Д.И., ассистент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Shakhnov@iu4.bmstu.ru

Введение

Работа посвящена разработке человеко-ориентированного интерфейса управления станками с ЧПУ посредством жестов.

Объектом исследования рамках данной работы является разработка нового метода взаимодействия пользователя со станками с ЧПУ в условиях малых мастерских. Различные методы управления уже были применены для облегчения взаимодействия пользователя с персональным компьютером, а также в компьютерных играх, но их полноценная реализация для станков с ЧПУ в условиях малых мастерских ещё не была осуществлена.

Цель исследований: разработка и реализация прототипа устройства управления станком с числовым программным управлением посредством системы жестов. Разработка прикладного программного интерфейса для разработанного устройства.

Научная и практическая новизна работы заключается в новом подходе к методам управления станками с ЧПУ. На данный момент управление осуществляется через пульты управления, требующие дополнительного изучения относительно каждого станка, что в условиях малых мастерских не представляется возможным в виду необходимости быстрого перехода пользователя от обучения к работе. В результате работы ожидается получить качественно новое устройство управления станками.

Анализ эволюции интерфейсов взаимодействия человека и различных вычислительных устройств

Так на сегодняшний день (2013 год) существует большое количество методов управления и взаимодействия с электронной аппаратурой. Многие из которых основаны на принципе захвата движения. Классификация методов захвата движения представлена на рисунке 1.

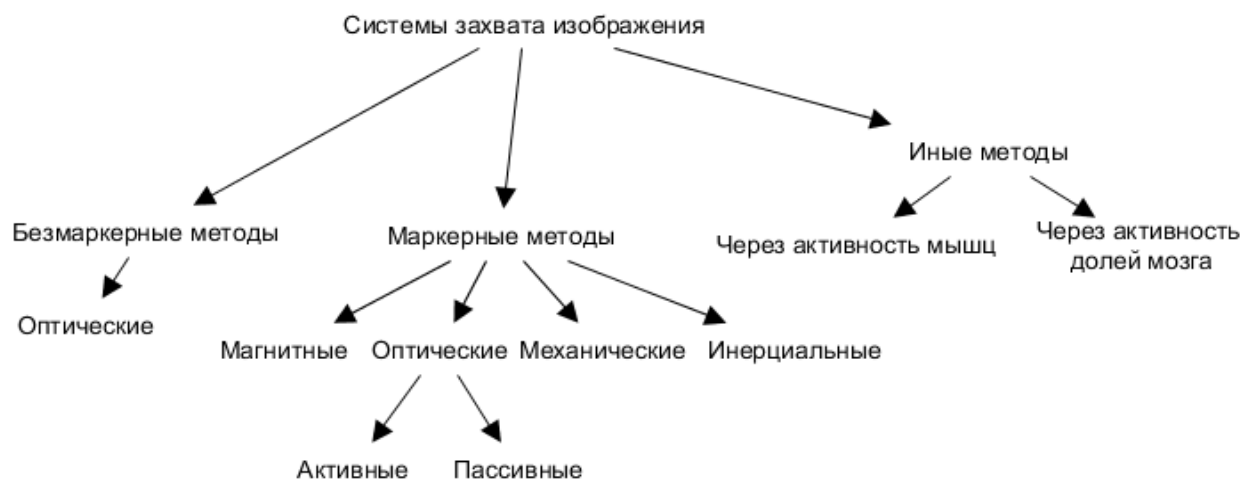


Рис. 1. Классификация рассмотренных методов захвата движения

Каждый из рассмотренных методов можно применить в качестве человеко-машинного интерфейса, так как по большому счёту они таковыми и являются, потому что осуществляют связь между человеком и компьютером, только в одних случаях результатом этого взаимодействия является движущаяся компьютерная модель на экране, а в других различная реакция компьютера на действия человека.

Таким образом, можно проследить всю историю развития человеко-машинных интерфейсов, начиная с цифр на барабанах первых арифмометров или счёт и заканчивая устройствами считывания и распознавания мыслей и движений мышц. Примечательно, что резкий скачок в области интерфейсов взаимодействия человека и ЭВМ произошел в последнее десятилетие благодаря мультимедии и индустрии видео игр.

Технологии взаимодействия человека и ЭВМ за последнее время совершили большой скачок. Но, если обратить внимание на станки с ЧПУ, то в этой области принципы организации интерфейсов станков не подверглись сильному изменению практически со времён их создания (рисунок 2).



Рис. 2. Современный станок с ЧПУ

В качестве принципа управления было выбрано управление посредством жестов и жестикулирования. Данный принцип является интуитивно понятным и при его использовании при управлении станком необходимо лишь знать конечный набор жестов, что значительно облегчает задачу человеку, не обладающему опытом длительного использования станков с ЧПУ. Данный принцип предусматривает наличие устройства, способного распознать жест пользователя, а, следовательно, захватить движение его рук и пальцев. Следовательно, возникает необходимость выбора подходящего метода захвата движения.

Для выбора подходящего метода управления необходимо провести сравнение их применения в условиях малых мастерских. Рассмотрим плюсы и минусы описанных ранее методов захвата изображения.

В таблице 1 приведена сравнительная характеристика всех рассмотренных методов по определённым характеристикам. Выбранные характеристики являются определяющими при выборе метода для его реализации в разрабатываемой системе.

Сравнительная характеристика методов захвата движения

Название Хар-ка	Оптические и магнитные методы	Механические методы	Методы распознавания активности мышц и мыслей	Инерциальные методы
Наличие носимой аппаратуры	Нет	Да	Да	Да
Приемлемая точность захвата	Да	Да	Нет	Да
Наличие «мёртвых» зон	Да	Нет	Нет	Нет
Высокие требования к аппаратному обеспечению	Да	Нет	Нет	Нет
Простота физической реализации	Да	Нет	Нет	Да
Простота программной реализации	Нет	Да	Нет	Нет
Доступность компонентов	Да	Нет	Нет	Да
Высокая стоимость	Да	Да	Да	Нет

Таким образом, исходя из приведённого анализа, видно, что для применения в условиях малых мастерских хорошо подходят механические и инерциальные методы захвата движения. Но, в виду малой доступности ресурсов, необходимых для реализации

механических методов, а так же, в виду, их некоторой громоздкости, для использования в разрабатываемом устройстве был выбран инерциальный метод захвата движения. Как видно из проведенного анализа, данный метод является наилучшим в виду его доступности для реализации и удобстве при использовании в условиях малых мастерских. На рынке существуют реализации подобных устройств, но было решено создать такое устройство «с нуля», так как это обеспечит наилучшее понимание процессов управления, проработку метода захвата движения и наилучшую адаптацию для существующих условий.

Выбранный инерциальный метод захвата движения, подразумевает наличие датчиков, установленных в точках, чьё движение необходимо захватить, следует определить местоположение этих точек. Разрабатываемое устройство подразумевается как устройства управления посредством жестов, следовательно, датчики необходимо устанавливать на руке и пальцах пользователя. Для удобства использования датчики будут устанавливаться на перчатку, которая будет одеваться пользователем на руку.

После проведенного анализа траекторий движений пальцев при жестикулировании было выявлено, что каждый жест можно однозначно распознать, если знать положение последней фаланги каждого пальца руки. Таким образом, было решено устанавливать модуль датчиков на крайние фаланги пальцев руки пользователя. Информация с модулей датчиков будет поступать на модуль обработки, расположенный с обратной стороны ладони. Модуль обработки будет обрабатывать информацию с модулей датчиков, и создавать управляющее воздействие, осуществляя, таким образом, управление станком. Управляющие команды будут поступать с модуля обработки на станок по беспроводной связи. Таким образом, будет обеспечиваться удобство применения и возможность расширения функционала данного устройства.

Постобработка получаемых данных

Каждый модуль датчиков имеет в своём составе датчик угловой скорости и гироскоп – модули на пальцах, датчик угловой скорости, гироскоп, магнитометр – основная плата. Таким образом, можно полностью определить положение каждого модуля в пространстве. К сожалению, полное определение положения модуля в пространстве представляет собой задачу, выходящую за рамки данной работы. Поэтому в данной работе было реализовано лишь частичное определение положения модулей датчиков в пространстве – при изменении положения датчиков в пределах вертикально плоскости, что наложило определённые ограничения на набор реализуемых жестов.

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/637572.html>

Процесс определения положения модуля в пространстве представляет собой многоступенчатый процесс, состоящий из следующих этапов:

- Считывание показаний датчиков;
- Предварительная фильтрация показаний датчиков;
- Определение угла наклона для акселерометра и угла поворота для гироскопа;
- Применение комплементарного фильтра;

На рисунке 3 приведены данные этапы в порядке их следования.

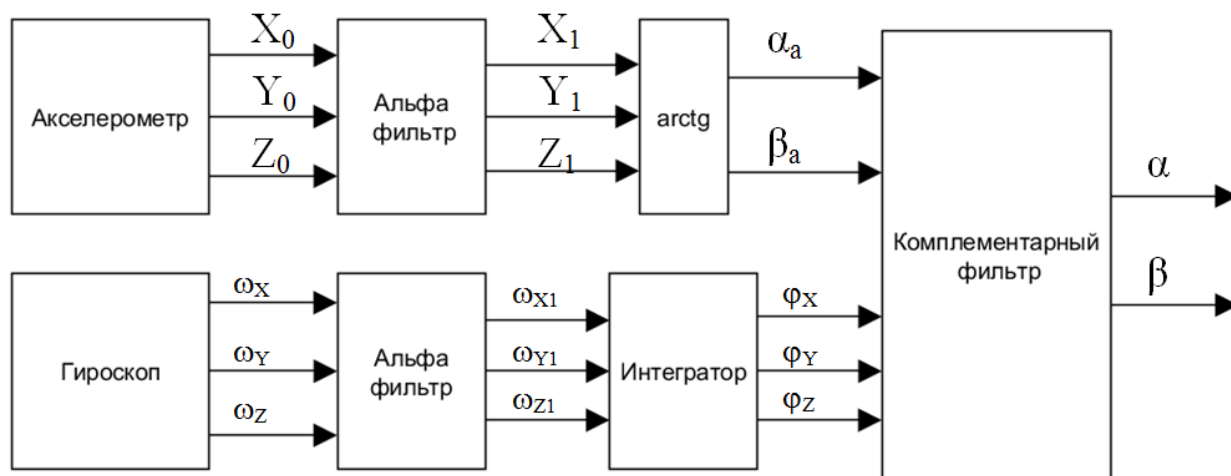


Рис. 3. Порядок обработки данных для получения положения модуля в пространстве

На данном рисунке X_0 , Y_0 , Z_0 – значение проекции вектора силы притяжения гравитационного поля земли на оси X , Y , Z акселерометра. X_1 , Y_1 , Z_1 отфильтрованные значения проекции вектора силы притяжения гравитационного поля земли на оси X , Y , Z акселерометра. ω_X , ω_Y , ω_Z – значения угловых скоростей вдоль осей X , Y , Z гироскопа. ω_{X1} , ω_{Y1} , ω_{Z1} – отфильтрованные значения угловых скоростей вдоль осей X , Y , Z гироскопа. α_a , β_a – рассчитанные углы наклона в плоскостях ZX и ZY , при условии движения только в одной плоскости. Данные углы рассчитаны исходя только из показаний акселерометра. ϕ_X , ϕ_Y , ϕ_Z – рассчитанные путём интегрирования значений угловых скоростей, полученных с гироскопа, значения углов поворота вдоль каждой из осей акселерометра.

Как видно из рисунка 2.2.2 данные считываемые с датчиков сначала предварительно фильтруются, далее происходит процесс расчёта углов поворота, основываясь на показаниях каждого из датчиков. В конце данные полученные значения

углов поворота передаются на вход комплементарного фильтра [17], который производит окончательную обработку данных и на его выходе получаем значения углов поворота, основанные на показаниях обоих датчиков.

«Альфа-фильтр» является простейшим рекурсивным фильтром обрабатывающим данные по следующей формуле:

$$X_i = \alpha X_{i-1} + (1 - \alpha) m_i \quad (1)$$

где X_i - отфильтрованное значение в i -ый момент времени;

α - весовой коэффициент;

m_i - измерение в i -ый момент времени.

Далее, после «Альфа-фильтра» происходит расчёт углов поворота. Обработка данных, полученных с акселерометра, происходит путём расчёта арктангенса отношения значений по оси X и Z по формуле:

$$\alpha = \arctan \left(\frac{X}{Z} \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (2)$$

где α – угол поворота в данной плоскости;

X, Z – значения проекции гравитационного поля земли, полученные из акселерометра;

Таким образом, происходит получение значений углов наклона модуля датчиков, основанное только на показаниях акселерометра.

Обработка данных, полученных из гироскопа, и получение углов поворота происходит путём интегрирования показаний осей данного датчика:

$$\varphi = \int_{t_1}^{t_2} \omega dt, \quad (3)$$

где φ - угол поворота вдоль выбранной оси;

t_1, t_2 – начальное и конечное время;

ω - значение угловой скорости вдоль выбранной оси.

В соответствии с формулой (3), интегрирование производится методом трапеций по формуле:

$$\varphi = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)\Delta t \quad (4)$$

где φ - угол поворота вдоль выбранной оси;

ω_1, ω_2 – начальная и конечная угловые скорости;

Δt – время между измерениями.

Таким образом происходит расчёт углов поворота модуля датчиков на основе показаний гироскопа.

Последним шагом при расчёте углов наклона модуля датчиков является применение комплементарного фильтра. Данный фильтр позволяет учитывать показания обоих датчиков и суммировать их с различным коэффициентом влияния для каждого из датчиков, таким образом, при расчёте состояния системы, имеется возможность отдать предпочтение менее шумящему датчику, и использовать более шумящий только для некоторой корректировки показаний первого. Комплементарный фильтр является относительно простым в применении и имеет следующую формулу:

$$\alpha = \frac{w_1 \alpha_a + w_2 \alpha_g}{w_1 + w_2}, \quad (5)$$

где α – скорректированное значение угла;

α_a – угол поворота, полученный на основе показаний акселерометра;

α_g – угол поворота, полученный на основе показаний гироскопа;

w_1, w_2 – весовые коэффициенты.

Для простоты использования данного фильтра перейдём к частному виду формулы (4), приняв, что $w_1 = 1 - w_2$ и обозначив w_2 как w :

$$\alpha = w_1 \alpha_a + w_2 \alpha_g \quad (6)$$

где α – скорректированное значение угла;

α_a – угол поворота, полученный на основе показаний акселерометра;

α_g – угол поворота, полученный на основе показаний гироскопа;

w – весовой коэффициент.

Решение задачи по разработке принципов распознавания жестов является не тривиальной задачей, следовательно, необходимо начать её решение с простейшего случая – распознать движение одного пальца, в одной плоскости, при условии статичности жестов.

В данном случае каждый жест будет представлять из себя определённое значение угла поворота модуля датчиков относительно горизонтального положения. В простейшем случае жест можно распознать, проанализировав положение датчика в текущий момент времени. Но появляется угроза ложных срабатываний, так как, при движении пальца, угол наклона модуля датчиков, закреплённого на нём, будет изменяться в широком диапазоне, что будет приводить к ложным срабатываниям. Для исключения ложных срабатываний, необходимо учитывать историю движения пальца и, соответственно, модуля датчиков, чтобы можно было гарантировать, что палец находится в текущем положении не мгновение, а чётко определённый промежуток времени. Поэтому появляется необходимость при работе устройства постоянно вести историю последних n состояний модуля датчиков. Это можно осуществить, организовав массив данных, содержащий последние n измерений угла поворота модуля датчиков. Имея, подобного рода, массив состояний модуля за определённое время имеется возможность анализировать историю изменения положения модуля датчиков за определённый промежуток времени. Такой анализ производится осреднением имеющихся данных истории состояния модуля. Данный подход обеспечивает защиту от некоторых ложных срабатываний. У рассмотренного способа, также, существуют существенные недостатки. Так, если имеются три жеста, таких, что чтобы перейти от первого жеста ко второму необходимо пройти через третий, то, при осреднении истории положений модуля, полученный результат может соответствовать промежуточному жесту. Данная проблема решается следующим образом. Каждый раз, когда необходимо определить текущий жест, анализ производится не только на основании осреднения истории, но, также, на основании положения модуля датчиков в текущий момент времени. Таким образом, решается проблема ложных срабатываний. Данный метод исключения ложных срабатываний является удобным и простым, что делает его подходящим для использования в данной работе. К сожалению, рассмотренный метод подходит только при распознавании статичных жестов, так как распознавание возможно только при выполнении вышеописанного условия.

Следующим шагом, после исключения возможности обработки ложных срабатываний, является непосредственно распознавание текущего жеста. В целях облегчения процесса расширения набора распознаваемых жестов, было принято решение

Молодежный научно-технический вестник ФС77-51038

использовать обучающийся механизм распознавания жестов. Данный механизм построен следующим образом. Каждый жест, который необходимо распознать, представляет собой набор показаний датчиков в виде таблицы, соответствующих данному жесту. При очередном распознавании происходит сверка реальных показаний датчиков с заранее записанными. И, если разница между реальными показаниями и уже имеющимися не выйдет за определённые границы, то выносится решение о распознанном жесте. Таким образом жест распознаётся при выполнении следующего условия:

$$|A_r - A_t| \leq \Delta \quad (7)$$

, где A_r – показание датчика в текущий момент времени;

A_t – показания датчика соответствующее определённому жесту;

Δ - максимальная разница в значениях показаний датчиков в данный момент и соответствующих определённому жесту, при котором жест ещё распознаётся.

Таким образом, имея эталонные значения, необходимую Δ и реальные показания датчиков можно с точностью, зависящей от Δ , определять текущий жест.

Как было оговорено ранее, работа ведётся с одним пальцем, так как, проработав и отладив алгоритмы для одного пальца – простейшего случая, их можно будет легко расширить для работы со всей рукой. Разработка программного кода происходила на языке C.

Разработка аппаратной и программной части устройства управления

Так одним из главных элементов устройства управления являются датчики, поэтому разработку устройства управления необходимо начать с разработки модуля датчиков. Определение используемых датчиков позволит в дальнейшем правильно подобрать микросхему обработки информации.

На рынке существует большое множество разнообразных датчиков ускорения и угловой скорости. Практически все из них являются микромеханическими. Все датчики можно классифицировать по следующим признакам:

- цена;
- внешний интерфейс(I2C, SPI, аналоговый);
- количество устройств в одном корпусе (одно устройство, два устройства);

- вид датчика(акселерометр, гироскоп, магнитометр);
- доступность на российском рынке;
- размеры датчика.

При выборе датчиков учитывались все вышеперечисленные признаки. В результате чего был получен модуль размерами 10x20 мм. Проводящий рисунок платы представлен на рисунках 4 и 5.

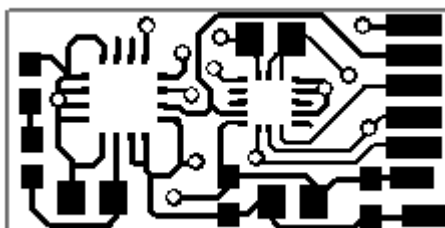


Рис. 4. Проводящий рисунок модуля датчиков, слой Top



Рис. 5. Проводящий рисунок модуля датчиков, слой Bottom

На внешний разъём были вынесены следующие линии:

- питание +3.3В;
- GND;
- CS 1;
- CS 2;
- SDO/ SDI/ SDA общая для обоих датчиков;
- SA0/ SDO общая для обоих датчиков;
- SPC/ SCL общая для обоих датчиков;

Некоторые линии являются общими, так как шины I2C и SPI поддерживают общие шины данных.

Таким образом, был разработан модуль датчиков, содержащий 2 датчика – гироскоп и акселерометр. Данный модуль удовлетворяет требованиям, предъявляемым поставленной задачей распознавания.

В результате разработки модуля обработки информации был разработан модуль размерами 60х50мм, основанный на микроконтроллере STM32F205RGT6 фирмы STMicroelectronics. проводящий рисунок, представленный на рисунках 6 и 7.

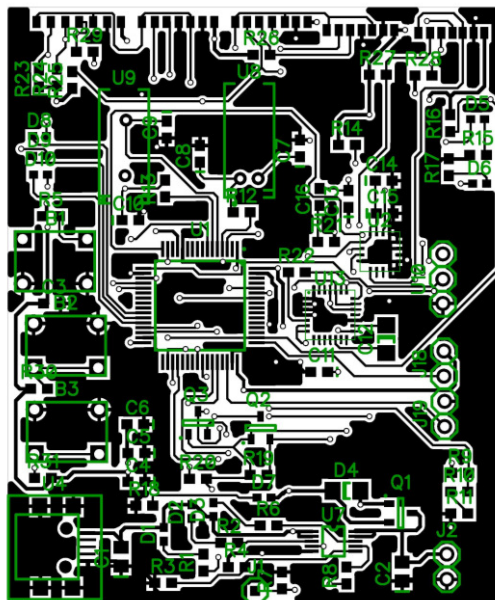


Рис. 6. Проводящий рисунок модуля обработки информации, сторона TOP

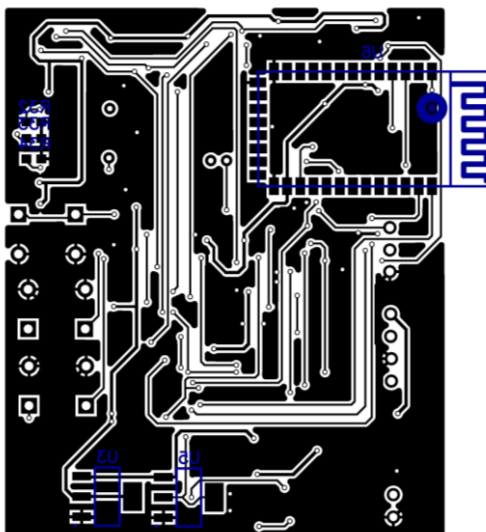


Рис. 7. Проводящий рисунок модуля обработки информации, сторона BOTTOM

Таким образом, был разработан модуль обработки информации. Данный модуль удовлетворяет всем предоставленным ему требованиям; обладает возможностью

автономного питания и беспроводной связи; основан на мощном микроконтроллере, позволяющим оперативно производить операции по считыванию данных и их обработке.

Первым и главным требованием к разрабатываемому ПО является возможность работы с множеством датчиков. Поэтому для возможности считывать и обрабатывать информацию сразу с нескольких датчиков было принято решение использовать операционную систему реального времени (ОСРВ). Операционные системы обладают особенностью, позволяющей решить проблему работы с множеством датчиков – это многозадачность. Для использования в данной работе была выбрана ОСРВ FreeRTOS. Данная ОСРВ является свободно распространяемой, также она хорошо зарекомендовала себя как надёжная и простая в понимании операционная система. Существует большое количество портов данной ОС под различные ядра, также и под ARM Cortex-M3.

Общий процесс обработки данных можно разбить на 6 групп задач, каждая из которых будет содержать процесс распознавания жеста одного пальца – 5 групп и запястья – шестая группа задач. В общем, процесс распознавания можно представить в виде диаграммы состояний (рисунок 8).

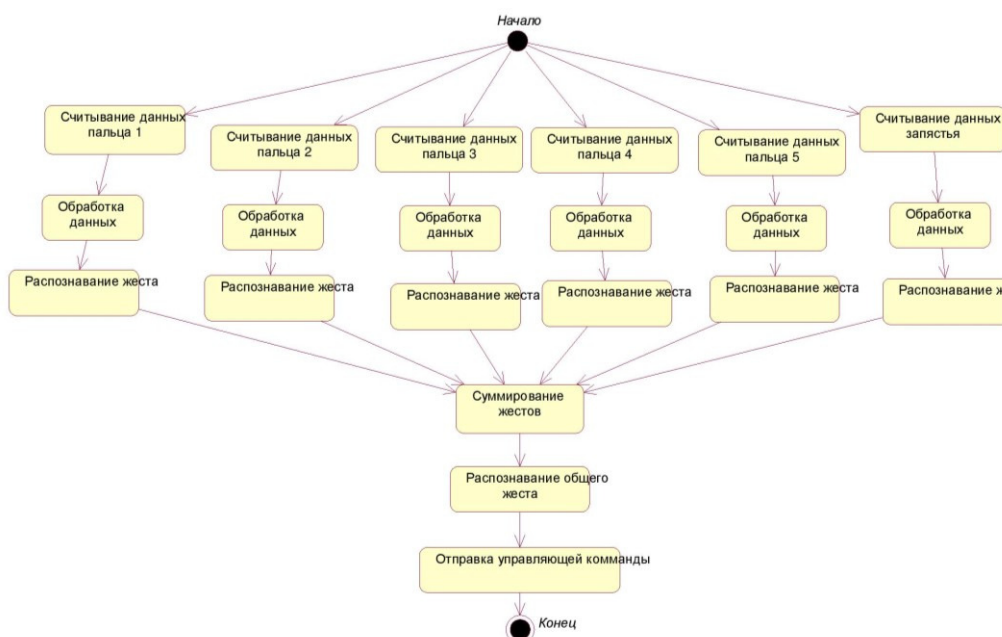


Рис. 8. Диаграмма состояний процесса распознавания жеста

Сначала происходит считывание данных с каждого модуля датчиков, далее происходит обработка этих данных и распознавание жеста каждого отдельного пальца. Далее все полученные жесты всех пальцев суммируются и происходит распознавание общего жеста. В конце происходит отправка управляющей команды. Все процессы обработки данных, как видно из представленной диаграммы, происходят одновременно. Молодежный научно-технический вестник ФС77-51038

Но, так как в данной работе производится распознавание жеста только одного пальца, то была реализована только одна ветвь состояний. Тем не менее, реализованная часть может быть дополнена для распознавая уже всего жеста в целом.

Экспериментальный стенд состоит из:

- отладочная плата Open207Z;
- модуль датчиков;
- программатор-отладчик ST-Link на базе платы STM32VLDISCOVERY.

В итоге экспериментальный стенд имеет следующий вид (рисунок 9):

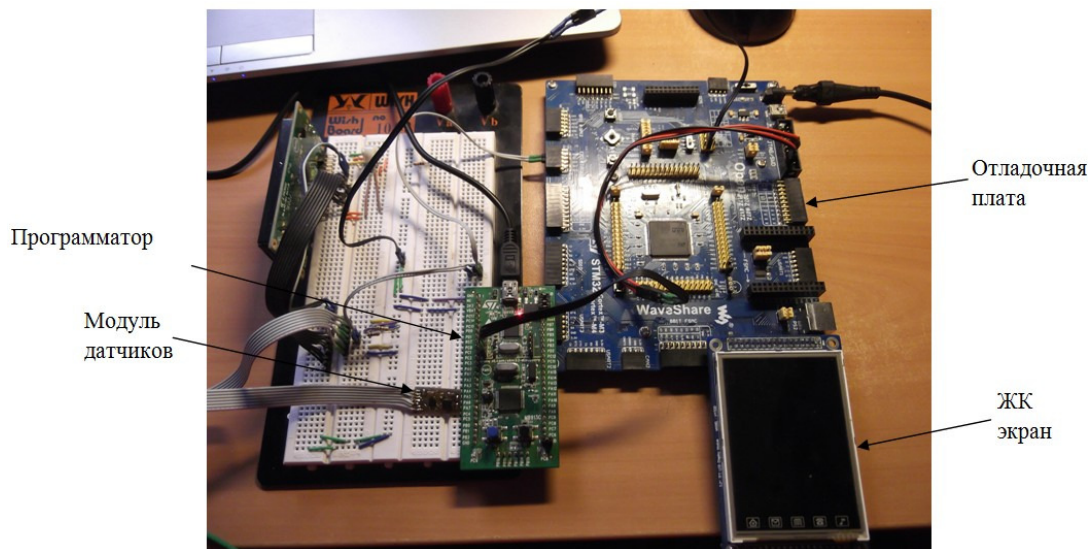


Рис. 9. Экспериментальный стенд

Данный экспериментальный стенд позволил в полной мере произвести разработку конструкции будущего устройства и его программного обеспечения.

Методика проверки на распознавание статичных жестов производилась следующим образом: в программе выставлялись нужные для распознавания положения модуля датчиков, далее производилась установка модуля датчиков в нужное положение, в результате чего на экране должны были появляться номера распознанных положений. В таблице 2 представлено задание на распознавание заданных положений.

Таблица 2

Задание на распознавание заданных положений

Действие	Реакция
Установка модуля датчиков под углом 0°	Появление на экране квадрата жёлтого цвета

Установка модуля датчиков под углом 60°	Появление на экране квадрата зелёного цвета
Установка модуля датчиков под углом 120°	Появление на экране квадрата красного цвета
Установка модуля датчиков под углом 180°	Появление на экране квадрата черного цвета

Проверка на ложные срабатывания проводилась следующим образом: в начале модуль датчиков выставлялся одно распознаваемое положение, далее производился его резкий перевод из текущего положения в следующее распознаваемое положение, причём это между двумя этими положениями должно находиться третье. Таким образом при переводе из одного положения в другое модуля датчиков, на экране не должна произойти индикация цвета, соответствующего промежуточному положению. В таблице 3 представлено задание на проверку ложных срабатываний.

Таблица 3

Задание на проверку ложных срабатываний

Действие	Реакция
Установка модуля датчиков под углом 60°	Появление на экране квадрата зелёного цвета
Резкий перевод из текущего состояния в состояние под углом 180°	Появление на экране квадрата черного цвета без появления промежуточного зелёного цвета

В соответствии с описанными методами испытаний, были проведены действия по оценке работоспособности разработанной системы распознавания жестов, которые показали, что разработанная система выполняет свой функционал, то есть правильно распознаёт жесты при отсутствии ложных срабатываний.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ:

- 1) Проведён анализ существующих интерфейсов взаимодействия человека и ЭВМ.
Выполнен обзор существующих методов захвата движения;

- 2) Проведена разработка схемы постобработки информации, получаемой с датчиков для определения положения модуля датчиков в пространстве. Разработаны алгоритмы предотвращения ложных срабатывания при распознавании жестов и алгоритмы распознавания жестов;
- 3) Выполнена разработка модуля датчиков и модуля обработки информации. Произведена разработка программного обеспечения, в частности, выбрана операционная система, организована система задач, реализующих функционал устройства, произведена реализация и отладка полученного программного обеспечения;
- 4) Произведена разработка методик тестирования и непосредственно тестирование полученной системы распознавания жестов. В результате тестирования было выявлено, что полученная система реализует заложенный в неё функционал. Алгоритмы распознавания жестов и защиты от ложных срабатывания работают корректно.

Список литературы

1. David Fontaine, Dominique David, Yanis Caritu. Sourceless Human Body Motion Capture.
2. Билибин К.И., Власов А.И., Журавлева Л.В. и др. Конструкторско-технологическое проектирование электронных средств. /под общ. редакцией Шахнова В.А. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2002. 500 с. (серия: Информатика в техническом университете).
3. Микушин А. В. Цифровые устройства и микропроцессоры. — БХВ-Петербург, 2010. — 832 с.
4. Антонью А. Цифровые фильтры. Анализ и проектирование. — Радио и связь, 1983.— 546 с.
5. Алексеев М.А. Сравнение простейших фильтров данных // Сборник научных трудов 15-ой Международной научно-технической конференции "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы", 2013г. Москва.
6. Агеева Т.И., Афонин А.И., Власов А.И. и др. Информационные технологии в инженерном образовании/под ред. Коршунова С.В., В.Н.Гузненкова. — М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2007. — 432 с.: ил.
7. Нестеров Ю.И., Власов А.И., Першин Б.Н. Виртуальный измерительный комплекс// Датчики и системы. — 2000. - №4. - С.12-22.

8. Sam Naghshineh, Golafsoun Ameri, Mazdak Zeresghi. Human Motion capture using Tri-Axial accelerometers.