

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАРМАННОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА (THE SOFTWARE APPLICABLE ELECTROCARDIOGRAPH)

К. В. Оверчук, А.А. Уваров, И.А. Лежнина
K.V. Overchuk, A.A. Uvarov, I.A. Lezhnina

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: kirill_ovk@mail.ru

Рассмотрена внутренняя архитектура аппаратной основы прибора и представлены результаты разработки встроенного программного обеспечения для карманного электрокардиографа индивидуального применения. Представлены результаты экспериментального применения прибора.
(Examined the internal architecture of the device hardware basis and the results of the development of embedded software for handheld electrocardiograph individual application. The results of experimental application of the device.)

Ключевые слова:

Программное обеспечение, карманный электрокардиограф, операционная система реального времени.
(Software, portable electrocardiograph, real-time operating system.)

Карманный электрокардиограф предназначен для индивидуального использования человеком с целью отслеживания и выявления заболеваний сердца в домашних условиях. Подобное наблюдение за сердцем необходимо для людей, которые, прежде всего, уже перенесли различные заболевания сердечно - сосудистой системы, например в постоперационный период, а также для людей, склонных к подобным заболеваниям. Постоянное систематическое использование прибора поможет обнаружить заболевания на ранней стадии.

Одной из нескольких особенностей, реализованных в приборе, является возможность считывания электрокардиограммы с пальцев пациента, а для более подробного обследования в приборе реализована возможность подключения грудных отведений, что позволит произвести считывание ЭКГ в других проекциях.

К особенностям прибора можно отнести использование аналого-цифрового преобразователя большой разрядности, а именно сигма-дельта АЦП на 24 бита, это позволило отказаться от применения аналоговых фильтров в пользу цифровых фильтров. Такое исполнение прибора стало возможным благодаря использованию новой элементной базы. Список основных элементов использованных в приборе описан в таблице 1.

Таблица 1. Список элементов с интерфейсом взаимодействия

Название элемента	Интерфейс взаимодействия
ADS1292	SPI
OLED Screen	SPI
SD Card	SDIO
Keyboard	GPIO
STM32F152	SWD

Вычислительным ядром прибора является *ARM* контроллер 7-го семейства с встроенными аппаратными функциями *DSP* и *FPU*. Его мощности достаточно для выполнения всех математических расчётов цифровых фильтров и для функционирования операционной системы реального времени, выполняющей необходимые функции и операции.

Отображение информации производится с помощью графического OLED дисплея разрешением 256 на 64 пикселей производства Wisechip. Дисплей имеет встроенный контроллер

управления SSD1322. Благодаря использованию описанного выше дисплея было запрограммировано графическое меню для управления прибором. Графическое меню представлено на рисунке 1. В свою очередь для создания иконок меню понадобилось разработать дополнительное программное обеспечение для преобразования растровых изображений в бинарные коды.



Рис. 1. Снимок графического меню прибора

Все полученные данные сохраняются на карту памяти стандарта SDCard. На карте программно инициализируется и используется файловая система FAT 32. Использование файловой системы позволяет сохранять данные в файлы и, впоследствии, производить любые действия с ними.

В качестве устройства ввода в приборе используется плёночная трех кнопочная клавиатура. Клавиатура подключена к портам ввода вывода микроконтроллера. В программном коде реализованы прерывания, чтобы не опрашивать клавиатуру постоянно и тем самым освободить процессорное время для других функций.

Разработка встроенного программного обеспечения производилась в среде *CooCox CoIDE*, которая предназначена для разработки программного обеспечения микроконтроллеров архитектуры *ARM*. Для компиляции исходного кода использовался *GCC compiler*, который входит в комплект *GNU Tools for ARM Embedded Processors*. Данные инструменты являются бесплатными и имеют очень хорошую поддержку. Для отладки использовалась отладочная плата *STM32F4Discovery*.

Как упоминалось ранее, основной особенностью является использование операционной системы (ОС) реального времени *FreeRTOSv4.7.2* [1]. Благодаря использованию ОС удалось сократить время разработки посредством создания соответствующих задач [2]. Для контроля задачи имеются специальный набор API функций, описание которых можно найти на официальном сайте *FreeRTOS* [3].

Для создания необходимых функций в приборе в рамках операционной системы было создано 6 задач. Каждая задача работает автономно от остальных, но при этом способна обмениваться информацией с другими задачами. Описание задач приведено в таблице 2.

Таблица 2. Описание задач в приборе

Задача	Функция
KeyboardTask	Ожидает прерывание от клавиатуры, при этом не занимает процессорного времени, сканирует нажатую клавишу, определяет её код и помещает код клавиши в очередь для других задач. Приоритет – 4.
Main Task	Отслеживает состояния всех задач и восстанавливает их состояние при сбое или зависаний функций. Приоритет – 3.
Menu Task	Выполняет функцию вывода меню на дисплей и выбора пунктов меню, что приводит к запуску соответствующих задач. Управляет задачами RECECGTask, ViewTask, DemoTask. Приоритет – 2.
REC ECG Task	Выполняет основную функцию по считыванию ЭКГ из АЦП, записывает полученные данные на SD карту, фильтрует и масштабирует для дальнейшего вывода в виде графика на дисплее. Особенность функции заключается в записи на SD карту не фильтрованных данных, в том виде в котором они были получены из АЦП. Это сделано с целью сохранения исходной формы сигнала и для возможности более глубокого анализа на компьютере с применением любых фильтров. Приоритет – 1.
View Task	Проверка и просмотр записанных данных. Приоритет – 1.
Demo Task	Несет только демонстрационный характер. Приоритет – 1.

Помимо использования ОС и создания в ней задач, для организации работы прибора потребовалась написать подфункцию преобразования 24 – битного формата данных, полученных из АЦП, в 32 – битный формат микроконтроллера. Подобная операция необходима для корректной работы микроконтроллера с отрицательными значениями, полученными из АЦП. Среди необходимых для работы прибора функций имеется функция построения графиков. Функция накапливает 4 значения, достраивает требующиеся значения между полученными и отправляет весь массив по SPI интерфейсу на дисплей. Подобная организация необходима из-за аппаратных требований дисплея. Кроме вышеописанных особенностей можно отметить, что полученные данные отправляются на карту памяти с частотой 500 SPS, в свою очередь на дисплей данные отправляются с частотой 125 SPS. Такое изменение частоты семплирования было необходимо для того, чтобы уместить на дисплее примерно 2 секунды времени. Для этого также понадобилась функция, которая производит выборку каждого четвертого отсчета полученного от АЦП и отправляет в функцию построения графиков.

Также стоит отметить, что для корректного отображения ЭКГ использовались два БИХ цифровых фильтра. Фильтр верхних частот с частотой среза в 1 Герц убирает дрейф изолинии, который может составлять порядка 300 мВ, благодаря ему график ЭКГ не уходит за границы дисплея. Фильтр низких частот с частотой среза 45 Гц предназначен для фильтрации сетевой наводки и других высокочастотных помех, которые сильно зашумляют график ЭКГ на дисплее. Использование БИХ фильтров обусловлено тем, что при небольшом порядке фильтра они имеют большее ослабление сигнала на заданной частоте по сравнению с КИХ фильтрами.

В результате всех выше описанных разработок, можно привести график полученных данных, считанных с SD карты, построенных при помощи программного пакета MatLab (рисунок 2-3).

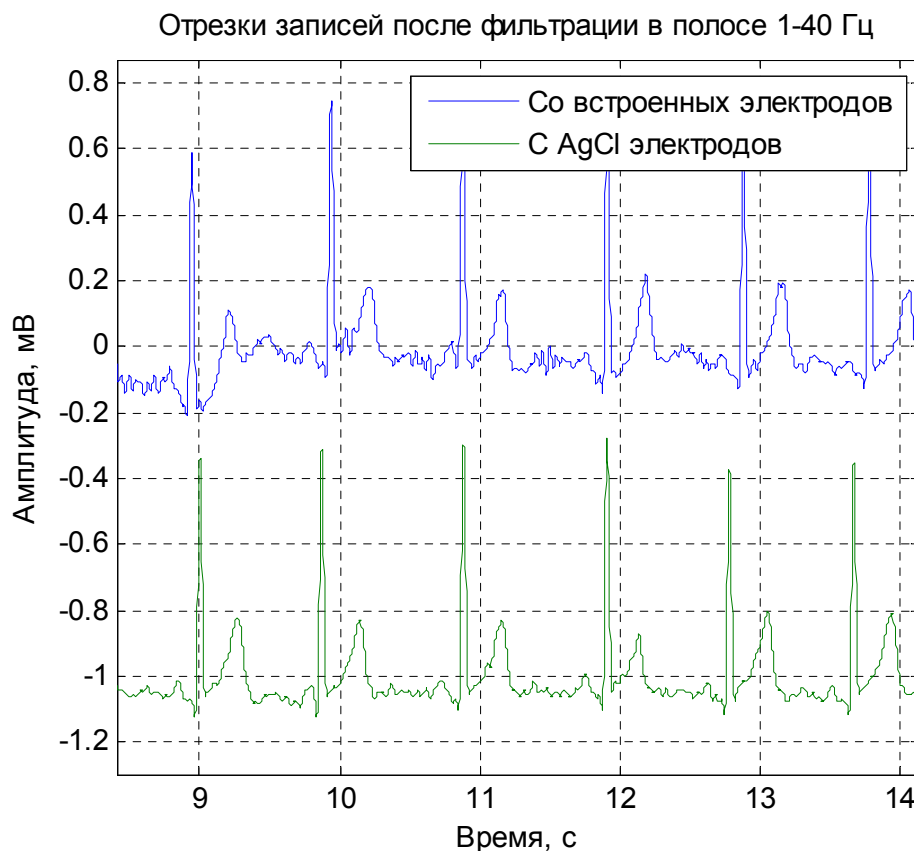


Рис. 2. ЭКГ пациента №1

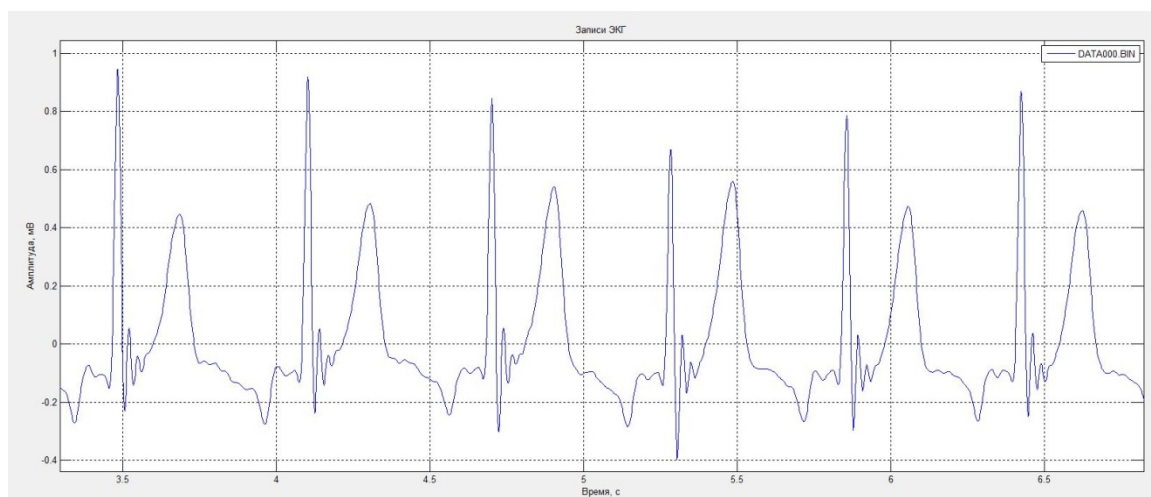


Рис. 3. ЭКГ пациента №1 с грудных отведений

На рисунке 1 представлена электрокардиограмма, считанная с пальцев рук пациента. По полученным данным можно проводить простые методы анализа состояния сердца в виде регистрации различных нарушений ритма. На рисунке 2 представлена ЭКГ полученная с грудных отведений. С помощью грудных отведений возможно производить более глубокий анализ состояния сердца и диагностировать множество заболеваний, в число которых входит и ишемическая болезнь сердца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов-Смирнов А. Операционные системы реального времени для микроконтроллеров. //Chip news, 2012. – № 5. – 20 с.
2. Сорокин С. Системы реального времени. // Современные технологии автоматизации, 2010. № 2. – 25 с.
3. FreeRTOS описание функций API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.freertos.org/a00106.html>

Сведения об авторах:

Оверчук К. В.: Томск, Томский политехнический университет, магистр 1 курса ИНК ИИТ, сфера научных интересов: информационные системы, микропроцессорные информационные системы. E-mail: ki-rill_ovk@mail.ru

Уваров А.А.: Томск, Томский политехнический университет, аспирант ИНК ФГБОУ НИ ТПУ, сфера научных интересов: автоматический анализ электрофизиологических данных. E-mail: uaa@tpu.ru.

Лежнина И.А.: Томск, Томский политехнический университет, к.т.н., доцент кафедры информационно-измерительной техники, старший научный сотрудник лаборатории 63 ИНК ФГБОУ НИ ТПУ, сфера научных интересов: исследование биоэлектрической активности сердца человека. E-mail: inna84-08@mail.ru.