

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СИНХРОННОЙ РЕГИСТРАЦИИ РАЗНОСКОРОСТНЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Е.А. Согонов¹

¹Самарский университет, г. Самара
e-mail: sogonove@yandex.ru

Аннотация

Представлен программно-аппаратный комплекс для синхронной записи разноскоростных физиологических сигналов с видеопотоком. Аппаратная часть построена на микроконтроллере STM32H750 с датчиком пульсоксиметрии MAX30102, программная часть – на Python/PyQt5. Синхронизация временных шкал реализована через оптические маркеры. Экспериментально достигнутое СКО синхронизации – 3,6-4,5 мс.

Ключевые слова: физиологические сигналы, синхронизация, STM32, MAX30102, PyQt5, оптические маркеры, фотоплетизмография.

Введение

Развитие методов бесконтактной оценки физиологических параметров (дистанционная фотоплетизмография, оценка ЧСС по речевому сигналу) требует создания верификационных баз данных, содержащих синхронизированные записи контактных датчиков и видеопотока [1]. Коммерческие решения (BIOPAC, ADInstruments) обладают высокой точностью, однако их стоимость ограничивает применение в учебных и исследовательских лабораториях. В данной работе описан программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий синхронную регистрацию данных датчиков и видеопотока, а также последующий просмотр записей в единой временной шкале. Комплекс включает аппаратную часть на базе микроконтроллера, программную часть на Python и метод синхронизации на основе оптических меток.

1. Аппаратная часть

Устройство построено на микроконтроллере STM32H750VBT6 с ядром ARM Cortex-M7 и тактовой частотой до 480 МГц [2]. Выбор данного микроконтроллера обусловлен наличием двух независимых интерфейсов USB (OTG_FS и OTG_HS), что позволяет в перспективе одновременно подключать внешнее медицинское оборудование в режиме USB Host и передавать данные на ПК. Структурная схема устройства представлена на рисунке 1.

Для формирования меток времени используется аппаратный таймер TIM6, настроенный на прерывания с периодом 1 мс. В обработчике прерывания инкрементируется счётчик тактов (метка времени с разрешением 1 мс), каждые 10 мс формируется текстовая строка с текущим тактом и значением сигнала и передается по UART на скорости 115200 бод. Раз в секунду микроконтроллер активирует светодиод на 50 мс и одновременно передает метку синхронизации FLASH. В качестве датчика пульсоксиметрии используется модуль MAX30102 [3], содержащий красный и

инфракрасный светодиода, фотодетектор и 18-битный АЦП в одном корпусе. Датчик подключён по шине I2C, встроенный FIFO-буфер на 32 отсчёта снижает требования к частоте опроса. Для подавления высокочастотных шумов применён цифровой фильтр скользящего среднего с окном 80 мс (8 отсчётов при частоте дискретизации 100 Гц).

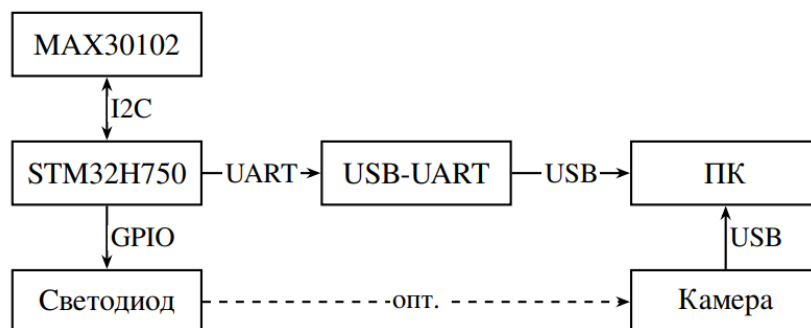


Рисунок 1 – Структурная схема устройства регистрации

2. Программная часть

Программный комплекс реализован на языке Python 3 с использованием фреймворка PyQt5 [4] и построен по модульной архитектуре. Слой ядра включает модули захвата видео и чтения UART, каждый из которых выполняется в отдельном потоке (QThread), что исключает блокировку графического интерфейса при непрерывном захвате данных. Модуль захвата видео использует библиотеку OpenCV и сопровождает каждый кадр меткой времени `time.perf_counter()` с разрешением порядка микросекунд. Модуль чтения UART принимает данные через библиотеку `pyserial` и поддерживает два формата сообщений: регулярные отсчёты (`tick:N; value:V`) и метки синхронизации (`FLASH:N`). Слой утилит содержит детектор вспышек: пользователь указывает область интереса (ROI), после чего алгоритм для каждого кадра вычисляет среднюю яркость в выбранном цветовом канале и сравнивает её с адаптивным порогом на основе скользящего окна. При обнаружении вспышки фиксируется пара меток, и по совокупности N таких пар вычисляется среднее смещение между временными шкалами:

$$\Delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (t_{video_i} - tick_i \times 10^{-3}). \quad (1)$$

Результаты сессии сохраняются в виде видеофайла (кодировка MJPG) и CSV-лога, содержащего для каждого события тип (`data/flash`), метку времени, номер такта, значение сигнала и источник. Реализован режим просмотра записей: при загрузке лога автоматически вычисляется смещение по формуле (1), после чего пользователь может осуществлять навигацию по записи, а видеокадр и маркер на графике обновляются синхронно.

3. Экспериментальная валидация

Эксперимент проводился на двух аппаратных платформах: ноутбуке с процессором Intel Core i7-12700H (32 ГБ RAM, Windows 11 Pro) и ноутбуке с процессором Intel Core i5-1155G7 (8 ГБ RAM, Windows 11 Home). Использовались веб-камера с разрешением 640×480 при 30 FPS и синий светодиод в качестве оптического

маркера. Для каждого кадра вычислялась задержка $\delta = t_{video} - t_{serial}$; результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерения точности синхронизации

Параметр	Core i7-12700H	Core i5-1155G7
Число измерений	10 383	11 519
Средняя задержка, мс	+1,5	+1,6
СКО (джиттер), мс	3,6	4,5
95-й перцентиль, мс	7,9	9,3

На производительной платформе 90 % измерений укладываются в диапазон от -3 до $+8$ мс. Положительное среднее значение задержки ($+1,5...1,6$ мс) обусловлено буферизацией в драйвере камеры: кадр становится доступен приложению позже, чем UART-данные того же момента. Фрагмент зарегистрированной фотоплетизмограммы представлен на рисунке 2.

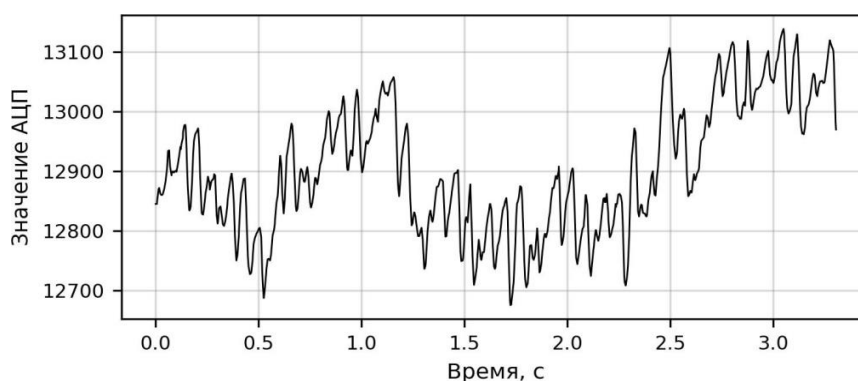


Рисунок 2 – Фотоплетизмограмма, зарегистрированная датчиком MAX30102

На графике видна периодическая пульсовая волна, соответствующая ЧСС около 75 уд/мин; низкочастотный тренд обусловлен дыхательной модуляцией кровенаполнения. При частоте пульса 60–100 уд/мин длительность систолического подъёма составляет не менее 100 мс, поэтому полученная погрешность синхронизации (4,5 мс СКО) соответствует смещению порядка 4 % от длительности систолы и не превышает длительности одного видеокadra (33 мс при 30 FPS), что достаточно для задач мониторинга и формирования верификационных баз данных.

Заключение

Разработан программно-аппаратный комплекс для синхронной регистрации разноскоростных физиологических сигналов с видеопотоком. Аппаратная часть построена на микроконтроллере STM32H750 с датчиком MAX30102, программная часть – на Python/PyQt5 с модульной архитектурой. Синхронизация временных шкал реализована через оптические маркеры. Экспериментально подтверждено, что СКО синхронизации составляет 3,6–4,5 мс на двух платформах общего назначения под ОС Windows. Комплекс может быть расширен дополнительными датчиками (ЭКГ, температура) благодаря модульной архитектуре и текстовому протоколу обмена.

Список использованных источников

1. Verkruijsse, W. Remote plethysmographic imaging using ambient light / W. Verkruijsse, L. O. Svaasand, J. S. Nelson // Optics Express. – 2008. – V. 16, № 26. – P. 21434–21445.
2. STM32H750VB Datasheet. – URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32h750vb.pdf> (дата обращения: 25.03.2026).
3. MAX30102 Datasheet. – URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX30102.pdf> (дата обращения: 25.03.2026).
4. PyQt5 Reference Guide. – URL: <https://riverbankcomputing.com/software/pyqt/> (дата обращения: 25.03.2026).

HARDWARE-SOFTWARE SYSTEM FOR SYNCHRONOUS RECORDING OF MULTI-RATE PHYSIOLOGICAL SIGNALS

E. A. Sogonov¹

¹*Samara University, Samara
e-mail: sogonove@yandex.ru*

Abstract

A hardware-software system for synchronous recording of multi-rate physiological signals with a video stream is presented. The hardware is based on the STM32H750 microcontroller with the MAX30102 pulse oximetry sensor; the software is implemented in Python/PyQt5. Time-scale synchronization is achieved via optical markers. The experimentally achieved synchronization RMS is 3.6–4.5 ms

Keywords: physiological signals, synchronization, microcontroller, STM32, MAX30102, pulse oximetry, optical markers.