

УДК: 7.092

DOI: [https://doi.org/10.14258/zosh\(2023\)1.13](https://doi.org/10.14258/zosh(2023)1.13)

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СТАРТА ЗАБЕГОВ И КОНТРОЛЯ ЛЕГКОАТЛЕТОВ НА ТРЕНИРОВКАХ И СОРЕВНОВАНИЯХ

**Королев Василий Геннадьевич<sup>AC</sup>**

Доцент кафедры физического воспитания. Московский институт электронной техники. Зеленоград, Россия. E-mail: kwg1948@inbox.ru

**Жораева Оксана Петровна<sup>ABD</sup>**

Старший преподаватель кафедры физического воспитания. Московский институт электронной техники. Зеленоград, Россия. E-mail: mis.oxana@mail.ru

## AUTOMATED START-UP SYSTEM FOR ATHLETES AND CONTROL AT TRAINING AND COMPETITIONS

**Korolev Vasily Genadievich<sup>AC</sup>**

Associate Professor of the Department of Physical Culture. Moscow Institute of Electronic Technology. Zelenograd, Russia. E-mail: kwg1948@inbox.ru

**Zhoraeva Oksana Petrovna<sup>ABD</sup>**

Senior Lecturer of the Department of Physical Education. Moscow Institute of Electronic Technology. Zelenograd, Russia. E-mail: mis.oxana@mail.ru

**Аннотация.** Данная работа направлена на разработку системы контроля времени между событиями на соревнованиях с возможностью идентификации спортсменов, управление стартом и контролем на финише. Для реализации системы используются широко распространенные интегрированные системы-на-кристалле, или модули, представляющие собой микроконтроллер с цифровым приемо-передатчиком, акселерометры, гироскопы и иные интегральные устройства, например оксипульсметр, датчики дыхания, кожно-гальванической реакции и др., которые соединяются с аналого-цифровым преобразователем контроллера или цифровым портом.

**Ключевые слова:** таймер соревнований, контроль состояния спортсменов, устройство фиксации финиша, идентификация участников соревнований

**Annotation.** This paper is about developing a time event system at competitions with the athletes and the start-finish identification. To implement the system, widely used integrated systems-on-a-chip or modules are used, which are a microcontroller with a digital transceiver, accelerometers, gyroscopes and other integrated or external microdevices and sensors, for example, an oximeter, breath sensor, galvanic skin response and others, which are connected to analog -digital converter of the controller or digital port.

**Keywords:** competition timer, monitoring the state of athletes, a finish fixation device, identification of competition participants

**Введение.** В настоящее время для контроля времени бега применяются различные методы. Классическим является визуальный замер со стартом отмашкой, голосом с соответствующей коррекцией скорости звука и использованием секундомера. Следующим уровнем повышения точности является применение стартового пистолета, фотофиниша, дублирование хлопка стартовым сигналом и др. При массовых стартах актуален контроль не только времени но и порядкового номера, автоматизация ведения журнала, автоматизированное внесение данных в протокол с визуализацией результата (Барановская, 2022). При использовании дублирования стартера сигналом с колодок улучшается точность, наличие акселерометра позволяет детектировать фальстарт и дать соответствующий сигнал отмены (Беляев, Бубнов, 2014).

Таким образом, актуальна разработка унифицированной системы для проведения забегов на короткие дистанции, индивидуально, малой или большой группой при проведении марафонов, при этом без применения сложных оптических визуальных систем детектирова-

ния финиша (Суржиков, 2015), имеющей переносное исполнение в габаритах кейса. В качестве готовых решений можно отметить (SAUK, 2022) экспериментальные системы на основе пассивных RFID-меток (Попков, 2022). Данные системы не являются модульными, обладают относительно высокой стоимостью или требуют наличия мощного передатчика для считывания пассивных меток. Предлагаемое решение позволяет строить системы на основе универсальных модулей, обладает невысокой стоимостью и может применяться для широкого круга пользователей.

**Целью работы** является создание недорогого программно-аппаратного комплекса для обеспечения тренировочного процесса в вузах, при проведении массовых забегов, соревнований преимущественно на средние и длинные дистанции, при небольшом количестве участников — на короткие.

**Методы исследования.** Объектом исследования является программно-аппаратный комплекс, состоящий из носимых устройств, базовой станции, структурная схема которого представлена на рисунке 1.

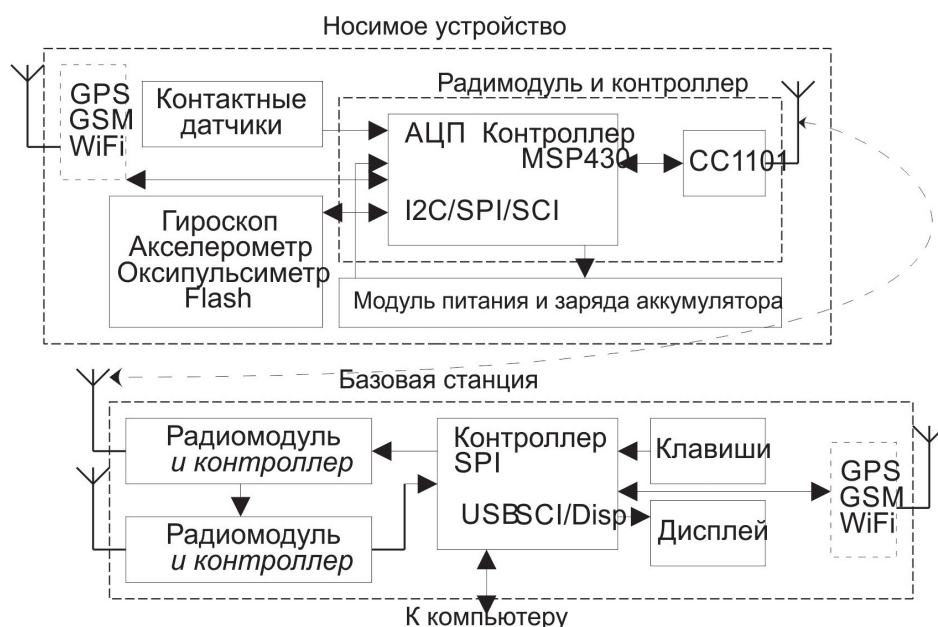


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия устройств и отдельных блоков

Для реализации носимого устройства и базовой станции используются микроконтроллер с интегрированным или внешним радиочастотным модемом (далее — контроллер-модем),

включая системы-на-кристалле, например контроллер MSP430 совместно с внешние модемом CC1101 или контроллер-модем CC430 от Texas Instruments, а также nRF905 и анало-

гичные. Возможно использование других интегральных схем со схожими характеристиками и функциональностью, реализующих радиочастотные интерфейсы Zigbee с частотой 868 МГц или LoRa. Основой является формирование специальной последовательности передачи и обработки данных, использование RSSI для оценки расстояния, синхронизация между мобильным устройством и стационарной базовой станцией, содержащей контроллер-модемы такого же типа, но с более эффективной антенной и имеющей несколько независимых каналов. В качестве периферийных устройств можно указать наличие звукового стартера, устанавливаемого на колодке в виде динамика, акселерометра, аккумулятора, антенны. В ка-

честве мобильного устройства используется контроллер-модем в виде небольшого модуля с дисковым аккумулятором, прикрепляемого к одежде или в виде браслета, пояса, имеющего миниатюрную антенну, встроенный гироскоп, акселерометр, с возможностью подключения оксипульсметра, датчика кожно-гальванической реакции, датчика дыхания на основе измерения изменения охвата грудной клетки. Также дополнительно возможен интерфейс для подключения внешней энергонезависимой Flash-памяти для записи событий. В качестве опции — приемник GPS и/или трансивер GSM с целью определения положения. Общая структурная схема предлагаемой системы представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Структурная схема взаимодействия модулей и диаграммы, иллюстрирующая работу системы

Изначально производится радиообмен, позволяя синхронизировать внутренние часы с точностью до 1 мс. При скорости передачи данных, например, 19200 бод с 10 бодами на 1 байт получается скорость передачи 1.92 кБ/с, при передаче за один пакет в среднем, например, 10 байт получается величина 5.2 мс на один пакет, что учитывается при синхронизации и команде старта. Каждый пакет содержит метку времени в формате миллисекунд объемом 1–2 байта, позволяя существенно увеличить точность взаимной синхронизации. Однако при большом количестве устройств время синхронизации может занять до единиц секунд. При этом обязательно должно выполняться условие гарантированного приема сигнала, определяемого его силой в виде значения RSSI. Данное значение и используется для определения прохождения контрольной точки. Каждый пакет содержит 1 байт, содержащий это значение. Таким образом, зная

взаимные параметры, можно косвенно судить о расстоянии до спортсмена. Находя производную от изменения RSSI, можно определить прохождение контрольной точки по максимуму амплитуды. Например, участники 1 и 2 (см. рис. 2) остановились рядом с финишем, 3, 4 — продолжили еще один круг. Разумеется, точность данного метода составляет несколько метров, что неприемлемо для контроля коротких дистанций, в этом случае на помощь приходит дополнительная идентификация пересечения с использованием простой лазерной системы, в случае наложения участников друг на друга единственным выходом является уже наличие фотофиниша. Таким образом, выборка положения каждого спортсмена составляет порядка 10–20 мс, что на скорости порядка 15–30 км/ч или от 4 до 8 м/с (400 м, 1 км и более длинные) соответствует пройденному расстоянию и точности порядка 20 см. С учетом возможных условий связи точность прохождения

контрольной точки может составить порядка 2–5 м, что вполне приемлемо для длинных дистанций. Следует отметить, что возможно использование динамического изменения скорости передачи данных при приближении к базовой станции от единиц кбод до десятков и даже сотен, повышая точность определения координаты, что является предметом дальнейших исследований.

Все модули имеют универсальные интерфейсы, позволяя строить на их основе разнообразные по функциям устройства. Так, с использованием радиомодуля и контроллера можно реализовать как устройство старта, носимое устройство, так и базовую станцию.

**Модуль носимого устройства** представляет собой небольшой блок габаритами не более 40×40×20 мм с ремешками крепления, интегрированной антенной. Напряжение питания формируется аккумулятором 3В, потребляемая мощность в активном режиме не превышает величину порядка 100 мВт. При этом обеспечивается динамическая скорость передачи пакетов данных (при постоянной скорости передачи двоичной информации от 1200 до 56 700 кбод) от 1 до 10 и более пакетов в секунду. Длина пакета составляет 8–12 байт и несет информацию, необходимую для идентификации спортсмена, времени в системе единиц и меток базовой станции, прохождения контрольных точек. Имеются также специальные пакеты, производящие взаимную синхронизацию с учетом времени приема и передачи данных и их обработки в течение долей или нескольких секунд, в этом случае система показывает пользователю, что она готова к замеру времени и старту. После старта осуществляется ориентировочное измерение скорости по ускорению, получаемому по акселерометру, по изменению силы принятого сигнала базовой станцией от передатчика, а также по силе сигнала, принятого мобильным устройством от мобильной станции. Одновременно имеется возможность передачи текущего значения ЧСС, оксигенации, частоты дыхания, количества шагов. В качестве опции возможно подключение модуля GSM/Глонасс для определения местоположения спортсмена и ведения записи траектории движения на внешнюю небольшую SPI Flash-

память объемом до 8 МБ. В эту память (являющуюся опциональной) возможна запись значений акселерометра и иных показателей с датчиков с частотой дискретизации до 1 кГц по каждому из четырех аналоговых каналов. При этом записывается интерпретация изменений, например старт, прыжок, остановка, падение, резкий поворот, по характерным признакам кривых ускорения и угловой скорости. В качестве цифровых каналов можно отметить порт для взаимодействия с оксипульсметром посредством I2C или GSM модулем посредством UART. Датчик дыхания представляет собой тензорезистор или иной измеритель усилия, соединенный с гибким резиновым ремнем, охватывающим грудную клетку. Осуществляется запись сигнала с датчика, определение сжатия и расширения грудной клетки и соответствующим алгоритмом — измерение глубины и частоты. Датчик кожно-гальванической реакции представляет собой источник тока не более 3 мкА, пропускаемый через электроды на запястье и позволяющий оценить потоотделение, стресс. Дополнительный контактный датчик температуры позволяет ориентировочно определить температуру тела или конечности.

Таким образом, мобильное устройство позволяет не только определять время между стартом и финишем, но и записывать и передавать данные, которые позволяют оптимизировать тренировочный процесс и использовать данное устройство в исследованиях, статистике, контролировать эффективность тренировок и состояние спортсмена.

**Модуль старта или контроля финиша.** Модуль, установленный в колодку, представляет собой такой же вид модем-контроллера с внешней антенной, динамиком старта, издающим звуковой сигнал на старт, встроенный акселерометр, позволяющий косвенно определить силу отталкивания и момент отрыва от колодки. Трехмерный акселерометр также может определить боковое смещение колодки или неверную установку, проскальзывание. Частота дискретизации стартера выше и составляет 10 кГц, что обеспечивает теоретическую точность измерения момента старта до сотен микросекунд, практическое



значение до 1 мс (1/1000). Осуществляется взаимная синхронизация и передача пакета данных, содержащего время старта в относительных единицах. В ходе синхронизации перед соревнованием производится условная установка времени в 0 мс, далее 32-битный счетчик отсчитывает время в миллисекундах от этого момента, что обеспечивает теоретическую продолжительность счета более месяца. Передается идентификатор колодки, что позволяет индивидуально осуществить звуковое сопровождение для каждого спортсмена и определить фальстарт. Аккумулятор имеет емкость порядка 5 Вт\*ч, напряжение 4–5 В, пиковую мощность динамика до 15 Вт. Данный модуль также может быть использован для простого фотофиниша с использованием лазерного излучения и фотодиода с меньшей мощностью и емкостью аккумулятора.

**Модуль базовой станции** базовой станции содержит несколько каналов приема-передачи на разных частотах. Каждый мобильный модуль и колодки имеют свою частоту, ассоциированную с заданным каналом. Распределение каналов производится динамически и автома-

тически при старте системы. За один раз можно идентифицировать не более 16 спортсменов, находящихся в области действия системы, составляющей до 300 м по прямой видимости (стандартный стадион — 400 м). При массовых забегах осуществляется контроль по идентификаторам пробегающих спортсменов в данной области. Имеется аккумулятор емкостью порядка 20 Вт\*ч. Имеется возможность подключения лазерного фотофиниша по пересечению ног и по пересечению туловища, устанавливаемых на разной высоте. С использованием алгоритма осуществляется выявление пробегающего спортсмена по радиочастотному идентификатору путем изменения силы сигнала от приближения и удаления от антенны, установленной на финише, дополнительно ассоциируются сигналы с сигналами, получаемыми от кнопки секундомера или выносного проводного, встроенного в систему или беспроводного отдельного секундомера, также выполняемого на основе мобильного устройства, описанного выше. Имеется символично-графический ЖК-дисплей с указанием замеров времени и меню пользователя.

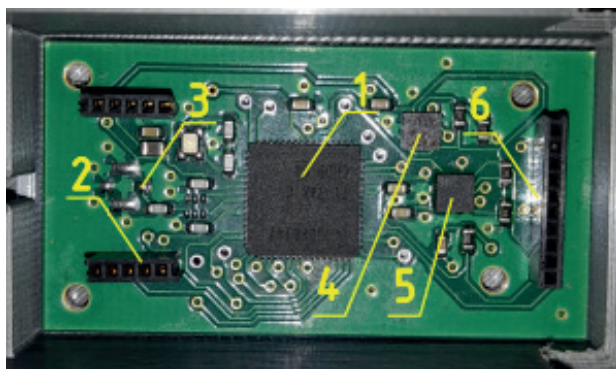


Рис. 3. Внешний вид прототипа носимого устройства: 1 — контроллер-модем, 2 — разъем для подключения внешних устройств и аккумуляторной батареи, 3 — выход для подключения антенны, 4 — акселерометр, 5 — гироскоп, 6 — разъем программирования и цифровых интерфейсов

**Результаты.** Предложена модульная система для контроля времени между стартом и финишем, физических параметров ускорения, угловой скорости при проведении соревнований, тренировок, позволяющая обеспечить замеры времени при прохождении контрольных точек, идентифицировать участников, на тренировке — запись физиологических параметров (ЧСС, гемоглобин, ЧД, показатели кожно-гальванической реакции), а также интерпретиро-

вать кривые угловой скорости и ускорения, показывающие начало старта, количество шагов, повороты, падения, удары, позволяющие оценить качество тренировочного процесса и состояния спортсмена. Разработана схема, печатная плата для прототипа носимого устройства на основе контроллера Ti CC430 с акселерометром, гироскопом и возможностью подключения внешних датчиков с использованием АЦП и цифровых портов I2C, UART.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Барановская Д. И. Хронометраж в спортивной деятельности : пособие для студентов. Минск : БНТУ, 2022. 75 с.

Беляев А. О., Бубнов А. А. Высокомобильная система транспондерного хронометража // Инженерный вестник Дона. 2014. № 2.

Суржиков А. Система спортивного хронометража — взгляд изнутри // Habr. URL: <https://habr.com/ru/post/366249/> (дата обращения: 15.08.2022).

RFID-системы электронного хронометража // SAUK. URL: <https://sauk.ru/rfid-sport> (дата обращения: 17.08.2022).

Попков И. А. Электронный хронометраж: презентация // ООО «Технология Идентификации». URL: [http://tech-id.ru/sites/default/files/elektronnyy\\_hronometrazh.pdf](http://tech-id.ru/sites/default/files/elektronnyy_hronometrazh.pdf) (дата обращения: 17.08.2022).

## REFERENCES

Baranovskaya, D. I. (2022). *Hronometrazh v sportivnoj deyatel'nosti: posobie dlya studentov* [Chronometing in sports activities: a manual for students]. Minsk: BNTU, 75 p. (in Russian).

Belyaev, A. O., Bubnov, A. A. (2014). Vysokomobil'naya sistema transpondernogo hronometrazha [High-mobile transponder timing system]. *Inzhenernyj vestnik Dona* [Don Engineering Bulletin]. № 2 (in Russian).

Surzhikov, A. (2015). Sistema sportivnogo hronometrazha — vzglyad iznutri [Sports timing system — look from the inside]. *Habr*. URL: <https://habr.com/ru/post/366249/> (data obrashcheniya: 15.08.2022) (in Russian).

RFID-sistemy elektronnoho hronometrazha [RFID systems of electronic timing]. SAUK. URL: <https://sauk.ru/rfid-sport> (date of the application: 17.08.2022) (in Russian).

Popkov, I. A. (2022). Elektronnyj hronometrazh: prezentaciya [Electronic timing: Presentation]. ООО «Tehnologiya Identifikacii» [LLC «Technology Identification»]. URL: [http://tech-id.ru/sites/default/files/elektronnyy\\_hronometrazh.pdf](http://tech-id.ru/sites/default/files/elektronnyy_hronometrazh.pdf) (date of the application: 17.08.2022) (in Russian).