

## Разработка прототипа носимого устройства геопозиционирования с применением технологии LoRaWAN

К.А. Зыков, Е.А. Рябов, Н.В. Короневский, В.А. Кильдишева, Р.А. Щипцов, И.В. Хайрушев, И.С. Великанов, А.А. Андреев, Б.В. Сергеева

Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
им. Н.Г. Чернышевского

**Аннотация:** исследована технология пакетной передачи данных на большие расстояния с малым энергопотреблением LoRaWAN, разработаны прошивка и печатная плата для устройства геопозиционирования, разработан промышленный дизайн устройства и серверная часть, отвечающая за обработку данных от устройства

**Ключевые слова:** СВЧ излучение, геопозиционирование

Интерес к исследованиям волновых процессов различной природы связан с фундаментальными проблемами науки, в частности, твердотельной электроники. Такие исследования ведутся в Саратовском государственном университете имени Н.Г. Чернышевского (СГУ) достаточно давно [1 – 10]. Создание новых и совершенствование известных устройств СВЧ и КВЧ диапазонов невозможны без изучения волновых процессов [11 – 13]. Изучаются процессы возбуждения волн пространственного заряда (ВПЗ) [5, 7], параметрического взаимодействия ВПЗ [3 – 5], усиления [7, 8, 14] и преобразования частот [4, 5, 9, 10, 14]. Также идет постоянный поиск новых материалов для использования в устройствах на ВПЗ [15, 16]. Большое внимание уделяется воздействию СВЧ излучения на различные материалы и структуры, а также вопросам использования СВЧ излучения для определения характеристик вещества [17 – 22]. При подготовке студентов Института физики СГУ колебательным и волновым процессам уделяется внимание в процессе изучения специальных дисциплин и при выполнении курсовых и выпускных работ [23 – 32].

Спутниковые системы навигации для позиционирования на открытом воздухе изначально разработанные для транспортных средств с питанием от бортовой сети, были весьма «прожорливы» и недешевы.

Технологии LoRaWAN позволяют определять расстояние с точностью 10-15 метров (сопоставимо с GPS), стоимость конечных устройств существенно ниже, энергопотребление чрезвычайно мало. Для сетей LoRaWAN не требуется получение частотного разрешения (частотный диапазон для работы по протоколу LoRaWAN 864 ÷ 870 МГц). Технология LoRaWAN перспективна для отслеживания транспорта (там, где транспорт работает не только в помещениях, но и на улице), вещей и людей.

Было изучено устройство существующих на рынке носимых электронных «гаджетов» в форм-факторе браслета для создания прототипа устройства геопозиционирования, выполненного в аналогичном форм-факторе. Целями исследования были: подбор необходимых комплектующих для прототипа, анализ их работоспособности в различных режимах работы с разными сочетаниями электронных компонентов, подготовка технического задания для разработки промышленного дизайна устройства, анализ имеющихся на рынке аналогов. Особенности изучаемых устройств: малый размер корпуса, работа в течение длительного периода времени (10

дней) без подзарядки, отправка устройством данных на сервер о местоположении или о срабатывании тревожной кнопки.

Выбор элементной базы осуществлялся исходя из следующих требований: компактный размер; проверенный производитель; доступность и наличие на складах поставщика; возможность модернизации и увеличения функционала; надежность, минимальная номинальная погрешность.

Были проведены работы по подбору, тестированию и проектированию печатной платы были определены электронные комплектующие, удовлетворяющие задачам разработки прототипа.

Разработана основная печатная плата устройства (10×30 мм) с компактно размещенными основными элементами. На рисунке 1 представлена плата без аккумулятора и пульсометра.

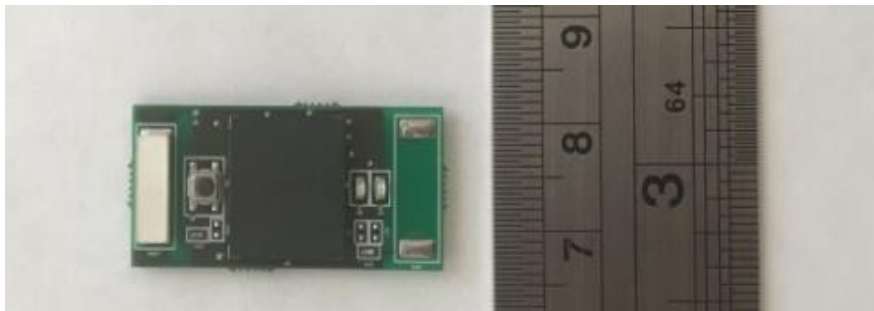


Рисунок 1. Внешний вид прототипа платы

Монтажная схема прототипа, по которой выполняется сборка и монтаж необходимых элементов, показана на рисунке 2. 3D модель и тестовый образец в сборе – на рисунке 3. Устройство соответствует всем заявленным требованиям и может применяться в наручных браслетах, а также в других аналогичных проектах, где требуется получение координат и дополнительных данных от пользователя, системы или аппарата.

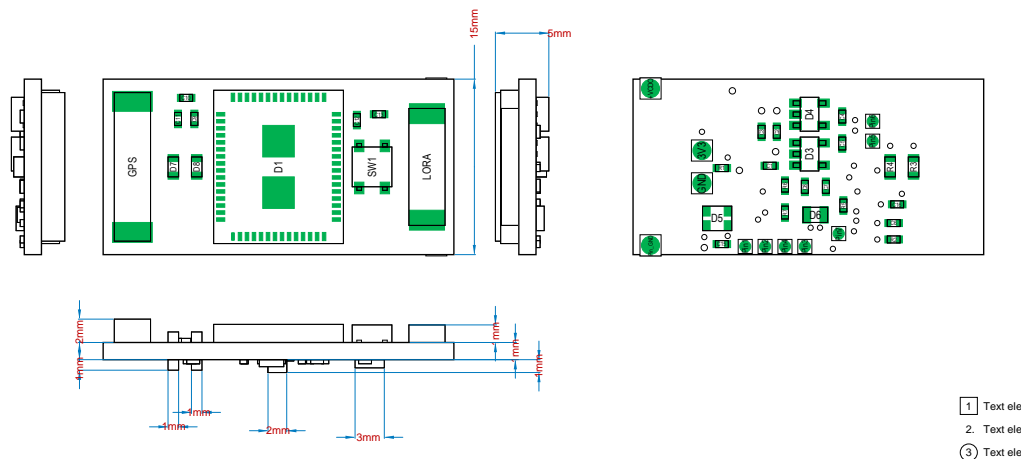
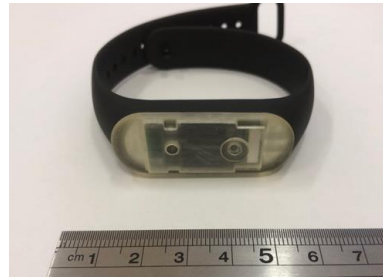
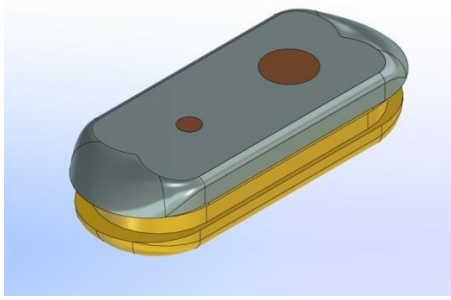


Рисунок 2. Центральная плата: расположение и размер элементов



**Рисунок 3.** 3D модель и собранный прототип

Для корректной работы устройства и соответствия заявленным характеристикам, разработан алгоритм работы (рисунок 4), позволяющий получать достоверную информацию о местоположении объекта, оптимизируя при этом энергозатраты. При работе исключаются ошибочные пакеты, содержащие нулевые координаты.

Алгоритм работы устройства:

1. Проверка на наличие сигнала от кнопки.

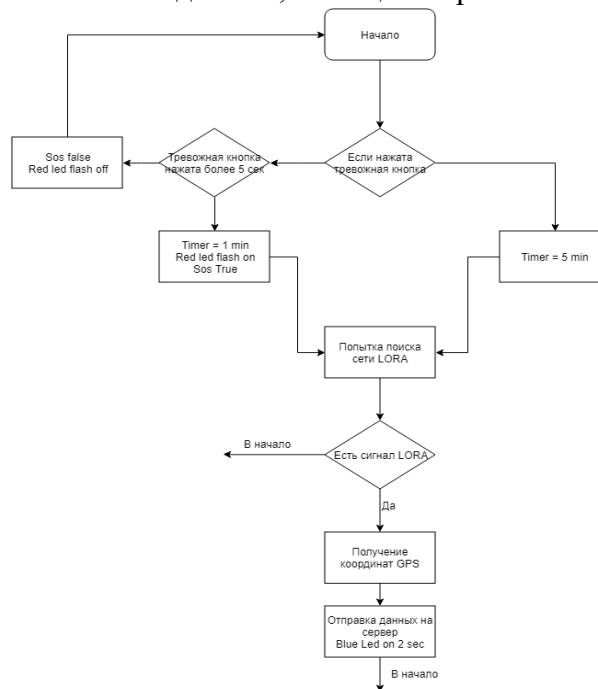
Кнопка не нажата – устанавливается таймер (5 минут), в результате чего энергетические затраты снижаются (нет постоянного поиска сети и передачи данных).

2. Активизация поиска сети LoRaWAN (через 5 минут).

В случае отсутствия сети алгоритм возвращается в начало, сеть найдена – происходит поиск GPS спутников, получение координат и передача данных на сервер. При этом загорается синий светодиод (на две секунды) и алгоритм возвращается в начало.

3. Нажата тревожная кнопка – проверка на длительность нажатия для определения факта случайности срабатывания кнопки.

Время удерживания кнопки менее пяти секунд – нажатие произошло случайно, алгоритм возвращается в начало; удержание кнопки более пяти секунд – загорается красный светодиод, таймер ставится на одну минуту, устанавливается тревожный бит, который отправляется с пакетом данных, сообщая о тревожном событии.



**Рисунок 4.** Алгоритм работы устройства геопозиционирования

Исследования показали, что на основе уже готовых систем имеется

технологическая возможность создания аддитивного браслета с радиоканалом LoRaWAN, оснащенного тревожной кнопкой и датчиком пульса для сервиса «Не теряйся!». На следующем этапе необходимо доработать собственное ПО, определяющие местоположение объекта, с добавлением возможности снятия медицинских показаний для создания социально-ориентированного сервиса мониторинга за людьми с ограниченными возможностями.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-00603 А.

#### Список литературы

1. Биленко Д. И., Демидов В. К., Котелков В. Н. и др. Руководство к практическим занятиям по физике полупроводников: Учеб. пособие / Под ред. доц. З.И. Кирьяшкиной. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1964. – 116 с.
2. Биленко Д. И., Демидов В. К., Котелков В. Н. и др. Руководство к практическим занятиям по физике полупроводников: Учеб. пособие; Изд. 2-е доп. / Под ред. проф. З.И. Кирьяшкиной. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1968. – 179 с.
3. Михайлов А. И., Сергеев С. А. Параметрическое взаимодействие волн пространственного заряда в тонкопленочных полупроводниковых структурах с отрицательной дифференциальной проводимостью // Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника. – 1995. – Т. 38, № 10. – С. 43-51.
4. Михайлов А. И., Сергеев С. А. Преобразование частоты при параметрическом взаимодействии волн пространственного заряда в тонкопленочных полупроводниковых структурах с отрицательной дифференциальной проводимостью // Письма в ЖТФ. – 1996. – Т. 22, в 24. – С. 75.
5. Mikhailov A. I., Sergeev S. A. Frequency conversion by the parametric interaction of space-charge waves in thin-film semiconductor structures with negative differential conductivity // Technical Physics Letters. – 1997. – Vol. 23. Is. 1-2. – P. 1-2.
6. Михайлов А. И., Сергеев С. А. Эффективность возбуждения волн пространственного заряда в тонкопленочной полупроводниковой структуре одиночным полосковым барьером Шоттки // ЖТФ. – 1999. – Т. 69, вып. 1. – С. 128-130.
7. Михайлов А. И., Сергеев С. А. Влияние концентрации электронов в пленке арсенида галлия на граничную частоту усиления волн пространственного заряда в тонкопленочных полупроводниковых структурах // Письма в ЖТФ. – 1999. – Т. 25, вып. 4. – С. 85-90.
8. Mikhailov A. I., Sergeev S. A. Influence of the electron density in a gallium arsenide film on the cutoff frequency for the amplification of space-charge waves in thin-film semiconductor structures // Technical Physics Letters. – 1999. – Vol. 25. № 2. – P. 162-163.
9. Михайлов А. И. и др. Патент 2138116 РФ, МКИ Н 03 D 7/00, 7/12, Н 01 L 27/095. Преобразователь частоты СВЧ диапазона. № 98116381/09.
10. Михайлов А. И. и др. Интегрированный преобразователь частоты миллиметрового диапазона длин волн на волнах пространственного заряда в полупроводниках с ОДП // Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника. – 2000. – Т. 43, № 2. – С. 16-24.
11. Сергеев С. А. и др. Волновые процессы в твердых телах и их использование в микроэлектронике // Нанозлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: тез. докл. – Саратов: Техно-Декор, 2018. – С. 283–285.
12. Храмов А. Е. и др. Генерация и усиление сигналов терагерцового диапазона. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2016. – 460 с.
13. Кузнецов А. П., Кузнецов С. П., Рыскин Н. М. Нелинейные колебания: Учебное пособие для вузов. М.: URSS, 2019. – 292 с.
14. Сергеев С. А., Михайлов А. И., Сергеева Б. В. Эффективность спектрального преобразования при параметрическом взаимодействии волн пространственного заряда в полупроводниках с ОДП // В мире научных открытий. – 2010. – № 4, Часть 6. – С. 49-52.
15. Сергеев С. А. и др. Перспективы применения нитридов галлия, индия и алюминия для функциональных устройств на волнах пространственного заряда // Ученые Записки Физического Факультета Московского Университета. – 2014. – № 2 (10). – С. 1-6.

16. Сергеев С. А., Михайлов А. И., Сергеева Б. В. Перспективные материалы для функциональных устройств на волнах пространственного заряда // Полупроводниковая электроника и молекулярные нанотехнологии: Сб. ст. – Саратов: «Наука», 2013. – С. 154-170.
17. Sergeev S. A. et al. Investigation of absorption and reflection spectra of aqueous suspensions of nanoparticles in the X band of microwave bandwidth // В сборнике: Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering SFM 2006. – Saratov, 2007. – С. 653606.
18. Сергеев С. А. и др. Коллоиды магнетита: получение и исследование свойств в СВЧ диапазоне // Полупроводниковая электроника и молекулярные нанотехнологии: Сб. ст. – Саратов: «Наука», 2013. – С. 214-228.
19. Сергеев Р. С. и др. Формирование и исследование сферических пористых микрочастиц карбоната кальция, функционализированных магнитными наночастицами // Новые материалы и технологии: состояние вопроса и перспективы развития: мат. конф. – Саратов: «Наука», 2014. – С. 244-249.
20. Сергеев Р. С. и др. Формирование и исследование сферических пористых микрочастиц карбоната кальция, обладающих магнитными свойствами // Наноматериалы и нанотехнологии: проблемы и перспективы: мат. конф. – Москва: Прондо. 2014. – С. 275-283.
21. Сергеева А. С. и др. Исследование процесса перекристаллизации магнитных микрочастиц // Фундаментальные и прикладные аспекты новых высокоэффективных материалов: Мат. конф. – Казань: Синяев Д.Н., 2013. – С. 142-144.
22. Sergeeva A. et al. Vaterite→calcite recrystallization of magnetic calcium carbonate microparticles // The nanoparticles and nanostructured coatings microcontainers: technology, properties and applications – Mater. Conf. – Saratov: Saratov State University, 2015. – P. 71-72.
23. Михайлов А. И., Сергеев С. А. Физические основы твердотельной электроники: Учеб. пособие. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2007. – 164 с.
24. Михайлов А. И., Сергеев С. А., Глуховской Е. Г. Физические основы твердотельной электроники и микроэлектроники: Планы семинарских занятий: Учеб. пособие. – Саратов: Редакция журнала «Промышленность Поволжья», 2008. – 116 с.
25. Усанов Д. А. др. Измерение параметров полупроводников, микро- и наноструктур на СВЧ: Лабораторный практикум: учеб. пос. – Саратов: Электр. издание Сарат. ун-та, 2012. – 91 с.
26. Усанов Д. А. и др. Измерение параметров полупроводников, микро- и наноструктур на СВЧ: учеб. пособие. – Саратов: Электронное издание Сарат. ун-та, 2012. – 55 с.
27. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Т. 1. – М.: Физматлит, 2003. – 495 с.
28. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Т. 2. – М.: Физматлит, 2004. – 646 с.
29. Портнов С. А. и др. Физика и химия границ раздела фаз: учеб. пособие. – Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2015. – 132 с.
30. Сергеев С. А. и др. Физика и химия коллоидных систем: учеб. пособие. – Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2016. – 168 с.
31. Усанов Д. А., Никитов С. А., Скрипаль А. В., Пономарев Д.В. СВЧ фотонные кристаллы – новая разновидность периодических структур в радиоэлектронике: учеб. пособие. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2016. – 84 с.
32. Усанов Д. А. и др. Одномерные СВЧ фотонные кристаллы. Новые области применения. – М.: Физматлит, 2018. – 184 с.
- 33.