

Исследование возможностей технологии пакетной передачи данных на большие расстояния с малым энергопотреблением LoRaWAN

К.А. Зыков

СГУ им. Н.Г. Чернышевского

Аннотация: исследована технология пакетной передачи данных на большие расстояния с малым энергопотреблением LoRaWAN, включающая приемо-передающие базовые станции для организации сети, оконечные исполнительные устройства и датчики с модемами и программное обеспечение, обеспечивающее беспроводную передачу и обработку данных в сети.

Ключевые слова: СВЧ излучение, геопозиционирование.

В Саратовском национальном исследовательском государственном университете имени Н.Г. Чернышевского (СГУ) активно изучаются волновые процессы различной природы. Интерес к таким исследованиям связан с фундаментальными проблемами науки в целом и твердотельной электроники в частности, а также имеет прикладное значение [1-43]. Знание особенностей волновых процессов дает возможность построения адекватных математических моделей для их изучения и открывает перспективы для создания новых и совершенствования уже известных устройств СВЧ и КВЧ диапазонов. Колебательным и волновым процессам уделяется внимание при подготовке бакалавров, магистров и аспирантов факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ в процессе изучения различных специальных дисциплин и при выполнении курсовых и дипломных работ [44-53].

В данной работе была разработана опытная сеть базовых станций (БС) пакетной передачи данных на большие расстояния с малым энергопотреблением LoRaWAN и программное обеспечение (ПО) системы геопозиционирования с протоколами передачи и методами обработки данных LoRaWAN. Была развернута и протестирована сеть IoT, дающая возможность передавать данные от оконечных устройств на сервер системы геопозиционирования. В городе Саратов были размещены и подключены к серверу три БС Kerlink Wirnet iBTS и одна БС Вега (одна по адресу ул. Мичурина, 55/61, одна по адресу ул. Большая Садовая, 153/163, и две (разных производителей) по ул. Краевая, 85). Тестирование работоспособности проводилось с помощью подключения к ней имеющихся оконечных устройств и передачи данных с них на сервер. Данные с устройств поступали на сервер штатно, таким образом, можно сказать, что в Саратове появилась новая опытная сеть IoT.

Осуществив интеграцию протоколов передачи и методов обработки данных LoRaWAN в ПО системы геопозиционирования стало возможным провести эксперимент по геопозиционированию какого-либо устройства. Эксперимент проводили с использованием устройства TTGOLORA 32 (автономное питание) с привязкой к двум наиболее далеко друг от друга стоящими станциями: ул. Мичурина 55/61 и ул. Краевая, 85. По данным по покрытию сети, была выявлена примерная зона проведения тестирования по определению местоположения объекта.

На рис. 1 показаны данные, поступающие на сервер с экспериментального устройства: черным показан путь движения человека с устройством, зеленые, красные и желтые точки указывают на местоположение объекта. Точки, находящиеся на черной линии, совпадают с реальным местоположением устройства. Разброс достигает 300

метров, однако использовались всего 2 базовые станции и простейший алгоритм определения местоположения по RSSI. Следовательно данный метод

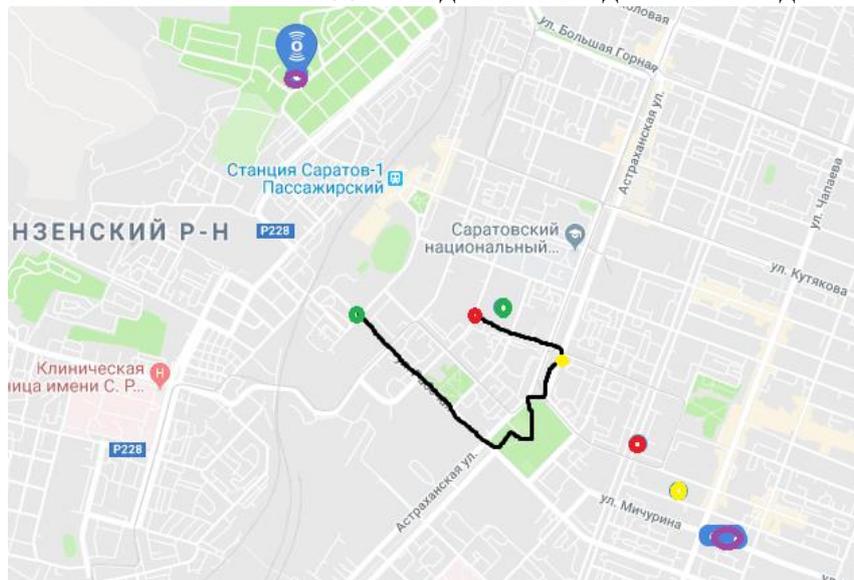


Рисунок 1. Данные о перемещении устройства TTGOLORA 32

определения местоположения можно использовать, создавая специальные оконечные устройства и совершенствуя алгоритмы. Кроме координат также были получены показания температуры, влажности и других параметров в определенное время (рисунок 2). В прототип вполне можно интегрировать датчик снятия и кнопку SOS, т.е. помимо местоположения можно фиксировать другие характеристики наблюдаемого в определенный момент времени (например, пульс), а также сигналы тревоги от устройства и т.д.

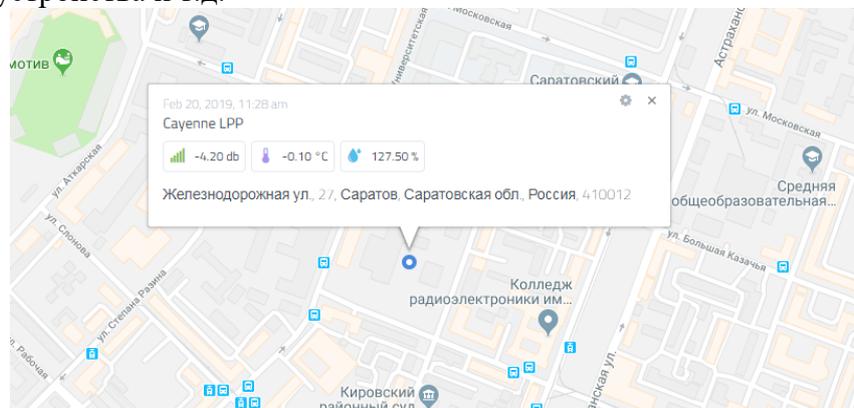


Рисунок 2. Характеристики объекта в определенный момент времени

Были проведены исследования в области устройств пакетной передачи данных на большие расстояния с малым энергопотреблением LoRaWAN. В этих исследованиях варьировались следующие параметры: скорость передачи данных, частотные характеристики, расстояние от базовой станции до конечного устройства.

Проведен сравнительный анализ и изучены характеристики промышленных базовых станций двух различных производителей. Сравнение полученных результатов тестирования позволяет сделать вывод о том, что у БС Kerlink в среднем на 10-15% уровень приема-передачи и охват территории больше, чем у БС Vega. Таким образом, с точки зрения дальности приема-передачи, для использования в системе геопозиционирования приоритет у БС Kerlink. Были изучены характеристики и возможности различных чипов. В результате проведенного исследования в качестве основного модуля (платы) с модемом LoRaWAN для носимого устройства

геопозиционирования системы «Не теряйся!» была выбрана плата S7678G (Рис. 3). В течение короткого периода развернута и запущена первая в Саратове сеть LoRaWAN. Исследовано и протестировано программное обеспечение для работы с конечными устройствами и базовыми станциями. Осуществлена интеграция протоколов передачи и методов обработки данных LoRaWAN в программное обеспечение системы геоопозиционирования проекта. Проведено тестирование по определению местоположения с применением технологии LoRaWAN. Рассмотрены серверные части для работы с LoRaWAN, доработано серверное ПО системы геоопозиционирования. Проработана возможность интеграции данного сервера в существующую мировую сеть LoRaWAN.



Рисунок 3. Чип S7678G

Исследования показали, что имеется технологическая возможность создания на основе уже готовых систем 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, для добавления возможности снятия медицинских показаний для создания социально-ориентированного сервиса мониторинга за людьми с ограниченными возможностями.

Список литературы

1. Михайлов, А. И. Параметрическое взаимодействие волн пространственного заряда в тонкопленочных полупроводниковых структурах с отрицательной дифференциальной проводимостью / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев // Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника. – 1995. – Т. 38, № 10. – С. 43–51.
2. Михайлов, А. И. Преобразование частоты при параметрическом взаимодействии волн пространственного заряда в тонкопленочных полупроводниковых структурах с отрицательной дифференциальной проводимостью / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев // Письма в ЖТФ. – 1996. – Т. 22, вып. 24. – С. 75–78.
3. Mikhailov, A. I. Frequency conversion by the parametric interaction of space-charge waves in thin-film semiconductor structures with negative differential conductivity / A. I. Mikhailov, S. A. Sergeev // Technical Physics Letters. – 1997. – Vol. 23. Is. 1-2. – P. 1–2.
4. Михайлов, А. И. Эффективность возбуждения волн пространственного заряда в тонкопленочной полупроводниковой структуре одиночным полосковым барьером Шоттки / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев // ЖТФ. – 1999. – Т. 69, вып. 1. – С. 128–130.
5. Михайлов, А. И. Влияние концентрации электронов в пленке арсенида галлия на граничную частоту усиления волн пространственного заряда в тонкопленочных полупроводниковых структурах / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев // Письма в ЖТФ. – 1999. – Т. 25, вып. 4. – С. 85–90.
6. Mikhailov, A. I. 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 / / A. I. Mikhailov, S. A. Sergeev // Technical Physics Letters. – 1999. – Vol. 25. № 2. – P. 162–163.
7. Михайлов, А. И. Фильтрация сигналов в устройствах на волнах пространственного заряда в полупроводниках / А. И. Михайлов, [и др.] // Электродинам. и техн. СВЧ и КВЧ. – 1999. – Т. 7, № 3 (24). – С. 101–102.
8. Патент 2138116 РФ, МКИ Н 03 D 7/00, 7/12, Н 01 L 27/095. Преобразователь частоты СВЧ диапазона / А. И. Михайлов, [и др.]. № 98116381/09.
9. Михайлов, А. И. Интегрированный преобразователь частоты миллиметрового диапазона длин волн

- на волнах пространственного заряда в полупроводниках с ОДП / А. И. Михайлов, [и др.] // Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника. – 2000. – Т. 43, № 2. – С. 16–24.
10. Михайлов, А. И. Функциональные возможности распространения и параметрического взаимодействия волн пространственного заряда в тонкопленочных полупроводниковых структурах n-GaAs и n-InP в миллиметровом диапазоне / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев // Перспект. направления развития электронного приборостроения. Мат. конф. – 2003. – С. 252–256.
 11. Горин, Д. А. Влияние микроволнового излучения на полимерные микрокапсулы с неорганическими наночастицами / Д. А. Горин, [и др.] // Письма в ЖТФ. – 2006. – Т. 32, С. 45–50.
 12. Sergeev, S. A. Investigation of absorption and reflection spectra of aqueous suspensions of nanoparticles in the X band of microwave bandwidth / S. A. Sergeev, [et al.] В сборнике: Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering Saratov Fall Meeting 2006. Saratov, 2007. – С. 653606
 13. Михайлов, А. И. Фазовая скорость волн пространственного заряда в полупроводниковых структурах на основе n-GaAs, n-InP и n-GaN / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев // Вопросы прикладной физики: Межвуз. науч. сб. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2009. – Вып. 16. – С. 38.
 14. Михайлов, А. И. Граничная частота усиления волн пространственного заряда в тонкопленочных полупроводниковых структурах на основе n-GaAs, n-InP и n-GaN / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2010. – Т. 13, № 1. – С. 33–37.
 15. Михайлов, А. И. Анализ параметрического взаимодействия волн пространственного заряда в асимметричных тонкопленочных полупроводниковых структурах с отрицательной дифференциальной проводимостью. Часть 1. Формулировка модели / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2010. – Т. 13. – С. 102.
 16. Сергеев, С. А. Эффективность спектрального преобразования при параметрическом взаимодействии волн пространственного заряда в полупроводниках с ОДП / С. А. Сергеев, А. И. Михайлов, Б. В. Сергеева // В мире научных открытий. – 2010. – № 4, Часть 6. – С. 49–52.
 17. Сергеев, С. А. Особенности спектрального преобразования при параметрическом взаимодействии волн пространственного заряда в полупроводниковых структурах на основе n-GaAs, n-InP, n-GaN: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / С. А. Сергеев. – Саратов, 2010. – 20 с.
 18. Сергеев, С. А. Особенности спектрального преобразования при параметрическом взаимодействии волн пространственного заряда в полупроводниковых структурах на основе n-GaAs, n-InP, n-GaN: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. / С. А. Сергеев. – Саратов, 2010. – 177 с.
 19. Михайлов, А. И. Анализ параметрического взаимодействия волн пространственного заряда в асимметричных тонкопленочных полупроводниковых структурах с отрицательной дифференциальной проводимостью. Часть 2. Результаты моделирования / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2010. – Т. 13, № 4. – С. 70.
 20. Михайлов, А. И. Возбуждение волн пространственного заряда в тонкопленочных полупроводниковых структурах с отрицательной дифференциальной проводимостью полосковым барьером Шоттки / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2011. – Т. 14, № 1. – С. 45–50.
 21. Сергеев, С. А. Фазовая скорость волн пространственного заряда в полупроводниковых структурах на основе нитридов индия, галлия и алюминия / С. А. Сергеев, [и др.] // Ученые Записки Физического Факультета Московского Университета. – 2014. – Т. 1, № 2. – С. 1–5.
 22. Сергеев, С. А. Граничная частота усиления волн пространственного заряда в тонкопленочных полупроводниковых структурах на основе нитрида индия / С. А. Сергеев, [и др.] // Ученые Записки Физического Факультета Московского Университета. – 2015. – № 5. – С. 1–5 (15502).
 23. Сергеев, С. А. Исследование свойств неорганических нановолокон с микрочастицами CaCO₃ на сверхвысоких частотах / С. А. Сергеев, [и др.] // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2017. – Т. 1. – С. 155–159.
 24. Сергеев, С. А. Синтез и исследование свойств неорганических нановолокон с микрочастицами CaCO₃ / С. А. Сергеев, [и др.] // Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: тез. докл. – Саратов: Изд-во «Техно-Декор», 2017. – С. 249–251.
 25. Короневский, Н. В. Синтез и исследование свойств микрочастиц CaCO₃, выращенных на неорганических волокнах и модифицированных наночастицами Fe₃O₄ / Н. В. Короневский, [и др.] // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине: Мат. школы-семинара – Саратов: Изд-во Саратовский источник, 2017. – С. 120–123.
 26. Михайлов, А. И. Волновые процессы в твердых телах и их использование в электронике / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев / Нано- и биомедицинские технологии. Управление качеством. Проблемы и перспективы: Сб. статей, вып. 2. – Саратов: Техно-Декор, 2018. – С. 61.
 27. Сергеев, С. А. Волновые процессы в твердых телах и их использование в микроэлектронике / С. А. Сергеев, [и др.] // Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: тез. докл. – Саратов: Техно-Декор, 2018. – С. 283–285.
 28. Сергеев, С. А. Новые функциональные материалы для устройств на волнах пространственного заряда / С. А. Сергеев, [и др.] / Нано- и биомедицинские технологии. Управление качеством.

- Проблемы и перспективы: Сб. статей, вып. 2. – Саратов: Техно-Декор, 2018. – С. 80–86.
29. Сергеев, С. А. Исследование свойств водных растворов этилового спирта на сверхвысоких частотах / С. А. Сергеев [и др.] // *Электроника и микроэлектроника СВЧ*. – 2015. – Т. 1. – С. 332.
 30. Sergeev, S. Indium phosphide as perspective material for functional microwave microelectronics / S. Sergeev, [et al.] // *Наночастицы, наноструктурированные покрытия и микроконтейнеры: технология, свойства и области применения: Матер. конф.* – Саратов: СГУ, 2015. – С. 74.
 31. Сергеев, С. А. Исследование свойств водных растворов роданида на сверхвысоких частотах / С. А. Сергеев, Э. Э. Гулманов, Р. С. Сергеев // *Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: тез. докл.* – Саратов: Изд-во «Техно-Декор», 2015 – С. 141–143.
 32. Сергеев, С. А. Исследование свойств водных растворов этилового спирта в СВЧ диапазоне / С. А. Сергеев, Э. Э. Гулманов, Р. С. Сергеев // *Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: тез. докл.* – Саратов: Изд-во «Техно-Декор», 2015 – С. 144–145.
 33. Сергеев, С. А. Теоретическое исследование спектров отражения волноводных секций, заполненных жидким диэлектриком / С. А. Сергеев, [и др.] // *Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: тез. докл.* – Саратов: Изд-во «Техно-Декор», 2015. – С. 146–147.
 34. Сергеев, С. А. Теоретическое и экспериментальное исследование спектров отражения и поглощения волноводных секций, заполненных жидким диэлектриком / С. А. Сергеев, Э. Э. Гулманов, Р. С. Сергеев // *В мире научных открытий*. – 2015. – № 8.1(68). – С. 494–506.
 35. Сергеев, С. А. Перспективы применения нитридов галлия, индия и алюминия для функциональных устройств на волнах пространственного заряда / С. А. Сергеев, [и др.] // *Ученые Записки Физического Факультета Московского Университета*. – 2014. – № 2 (10). – С. 7-11.
 36. Сергеев, С. А. Исследование свойств водотопливных эмульсий с наночастицами магнетита на сверхвысоких частотах / С. А. Сергеев, Э. Э. Гулманов, Р. С. Сергеев // *В мире научных открытий*. – 2014. – № 4 (52). – С. 148–160.
 37. Сергеев, С. А. Перспективные материалы для функциональных устройств на волнах пространственного заряда / С. А. Сергеев, А. И. Михайлов, Б. В. Сергеева // *Полупроводниковая электроника и молекулярные нанотехнологии: Сб. ст.* – Саратов: «Наука», 2013. – С. 154–170.
 38. Сергеев, С. А. Коллоиды магнетита: получение и исследование свойств в СВЧ диапазоне / С. А. Сергеев, [др.] // *Полупроводниковая электроника и молекулярные нанотехнологии: Сб. ст.* – Саратов: «Наука», 2013. – С. 214–228.
 39. Сергеев, Р. С. Формирование и исследование сферических пористых микрочастиц карбоната кальция, функционализированных магнитными наночастицами / Р. С. Сергеев, [и др.] // *Новые материалы и технологии: состояние вопроса и перспективы развития: мат. конф.* – Саратов: «Наука», 2014. – С. 244–249.
 40. Сергеев, Р. С. Формирование и исследование сферических пористых микрочастиц карбоната кальция, обладающих магнитными свойствами / Р. С. Сергеев, [и др.] // *Наноматериалы и нанотехнологии: проблемы и перспективы: мат. конф.* – Москва: Прондо. 2014. – С. 275–283.
 41. Сергеева, А. С. Исследование процесса перекристаллизации магнитных микрочастиц / А. С. Сергеева, [и др.] // *Фундаментальные и прикладные аспекты новых высокоэффективных материалов: Мат. конф.* – Казань: Синяев Д.Н., 2013. – С. 142–144.
 42. Sergeeva, A. Vaterite→calcite recrystallization of magnetic calcium carbonate microparticles / A. Sergeeva, [et al.] // *The nanoparticles and nanostructured coatings microcontainers: technology, properties and applications – Mater. Conf. – Saratov: Saratov State University, 2015. – P. 71–72.*
 43. Sergeeva, A. Composite Magnetite and Protein Containing CaCO₃ Crystals. External Manipulation and Vaterite→Calcite Recrystallization-Mediated Release Performance / A. Sergeeva, [et al.] // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2015. – Vol. 7, Is. 38. – P. 21315–25.
 44. Михайлов, А. И. Физические основы твердотельной электроники: Учеб. пособие / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2007. – 164 с.
 45. Михайлов, А. И. Физические основы твердотельной электроники и микроэлектроники: Планы семинарских занятий: Учеб. пособие / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев, Е. Г. Глуховской. – Саратов: Редакция журнала «Промышленность Поволжья», 2008. – 116 с.
 46. Сергеев, С. А. Компьютер в физической лаборатории: Учеб.-метод. пособие / С. А. Сергеев. – Саратов: ООО «Редакция журнала «Промышленность Поволжья», 2008. – 368 с.
 47. Сергеев, С. А. Компьютер в физической лаборатории: учеб.-метод. пособие / С. А. Сергеев, И. В. Сысоев. – Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2013. – 304 с.
 48. Портнов, С. А. Физика и химия границ раздела фаз: учеб. пособие / С. А. Портнов, [и др.] – Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2015. – 132 с.
 49. Сергеев, С. А. Физика и химия коллоидных систем: учеб. пособие / С. А. Сергеев, [и др.] – Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2016. – 168 с.
 50. Сергеев, С. А. Основы программирования и анализа данных для задач материаловедения, биофизики и физической химии: учеб. пособие / С. А. Сергеев, И. В. Сысоев, Д. А. Горин. – Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2016. – 304 с.

51. Сергеев, С. А. Основы программирования для задач биофизики и материаловедения: учеб. Пособие / С. А. Сергеев, И. В. Синёв, Д. А. Горин. – Саратов: Изд-во «Амирит», 2017. – 308 с.
52. Сергеев, С. А. Методы биофотоники для исследования сложных систем / С. А. Сергеев, [и др.]. – Саратов: Изд-во «Амирит», 2017. – 104 с.
53. Сергеев, С.А. Современные компьютерные технологии. Персональный компьютер в инженерной практике / С. А. Сергеев, А. И. Михайлов, Б. В. Сергеева. – Germany. Saarbrücken: Изд. Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 240 с.