

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА СЕТИ LTE

**Н.В. Бабаев**, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, *n.babaev2016@yandex.ru*;

**Д.Ю. Румянцев**, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, *drewzerg@gmail.com*.

### УДК 621.391.8

**Аннотация.** Для проведения исследований, касаемых радиопокрытия сетей мобильной связи, необходимо использовать дорогостоящее специализируемое оборудование, что зачастую бывает невозможно для малых предприятий, образовательных учреждений и региональных отделений операторов связи. Целью работы, результаты которой представлены в данной статье, является реализация подобного функционала на бюджетных комплектующих. В рамках статьи рассмотрен краткий анализ существующих решений, на основании которого формируется список необходимых для измерения параметров. Для реализации поставленной задачи выбрана платформа *Raspberry PI 3* из-за ее компактности, вычислительной мощности и бюджетной стоимости по сравнению с ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема). В качестве модуля связи выбран модуль *SIM7600E*, полностью удовлетворяющий условиям проведения измерений стандарта *LTE*. В дальнейшем разработку можно масштабировать на работу со всеми известными стандартами мобильной связи *GSM/WCDMA*. В ходе работы продемонстрирована реализация программного кода на примере запроса уровня сигнала и данных о местоположении с помощью *AT*-команд, также показан результат работы по выводу информации на различные дисплеи, в том числе и вывод информации на разработанный адаптивный *web*-интерфейс, функционал которого можно продемонстрировать в дальнейших исследованиях.

**Ключевые слова:** измерение параметров сети; *LTE*; *Raspberry PI 3*; мобильная связь; операторы.

## DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR MEASUREMENT OF LTE NETWORK SIGNAL PARAMETERS

**N.V. Babaev**, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich;

**D.U. Rummyantsev**, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich.

**Annotation.** To conduct research on the radio coverage of mobile networks, it is necessary to use expensive specialized equipment, which is often impossible for small enterprises, educational institutions and regional branches of telecom operators. In this regard, the goal of this work is the implementation of such functionality on budget components. Within the framework of the article, a brief analysis of existing solutions is considered, on the basis of which a list of parameters necessary for measuring is formed. To implement this task, the *Raspberry PI 3* platform was chosen because of its compactness, computing power and budget cost compared to FPGAs. The *SIM7600E* module was chosen as the communication module, this module fully meets the conditions for carrying out measurements of the *LTE* standard, in the future development can be scaled to work with all well-known *GSM / WCDMA* mobile communication standards. In the course of the work, the implementation of the program code was demonstrated, using

the example of querying the signal level and location data using *AT*-commands, the result of the work on displaying information on various displays, including the output of information to the developed adaptive web interface, the functionality of which is shown can be demonstrated in further studies.

**Keywords:** network parameter measurement; LTE; Raspberry PI 3; mobile communications; operators.

---

### **Введение**

Сети мобильной связи развиваются очень быстро, и вскоре появится новый виток развития мобильной связи – стандарты 5G. Пока подготавливается инфраструктура для внедрения сетей пятого поколения. Основным стандартом мобильной связи в данный момент для предоставления пакетной передачи данных является стандарт *LTE*. Однако, рассматриваемая в статье проблема относится ко всем существующим стандартам связи, поскольку это проблема радиоканала.

Исходя из соображений, что услуги мобильной связи являются прежде всего коммерческим продуктом операторов связи, в данной сфере существует определенная конкуренция за абонентов или пользователей услуг связи. Одним из главных критериев выбора определенного оператора для абонента служат сервисы, предоставляемые оператором связи, а также покрытие. Поэтому операторам связи необходимо пытаться обеспечивать максимально высокое качество услуг связи своим клиентам во избежание миграции абонентов.

Для поддержания высокого качества услуг, операторам связи необходимо производить тестирование, мониторинг состояния сети с целью ее последующей корректировки. Одной из этих процедур является измерение радиопараметров сетей мобильной связи. Благодаря данным параметрам операторам удается отслеживать возникновение аварий на оборудовании, рост интерференции по каналам связи, уровень сигнала, отношение сигнал-шум и др. Производить измерение данных параметров с определенным уровнем качества может только сертифицированное, дорогостоящее оборудование. В связи с этим, в рамках исследовательских работ имеет смысл разобрать возможность реализации функционала измерителей сетей мобильной связи на бюджетных платформах.

### **Существующие решения в сфере измерений параметров сетей**

Прежде чем приступать к реализации измерителя, необходимо определить перечень необходимых параметров для измерений. Для этого произведем анализ существующих решений в сфере измерителей параметров сетей мобильной связи. На сегодняшний день в мире существует всего несколько компаний, решения которых удовлетворяют данному исследованию. Среди них *Rohde & Schwarz*, *Keysight Technologies*, *Infovista* (ранее *Ascom*). Каждая из этих компаний предоставляет оборудование для проведения измерений и программное обеспечение для отображения и постобработки результата измерений. Решения компаний схожи между собой, поэтому кратко опишем каждое из них:

- *Nemo (Keysight)* – решения *Nemo* могут использоваться для драйва тестов (*Nemo Outdoor*), для измерений в мобильном устройстве (*Nemo Handy*), либо для глубокого сравнительного анализа сетей (*Nemo Invex*) с последующей постобработкой в специализированном *Nemo Analyze*.
- *Tems (Infavista)* – решения данной компании практически полностью совпадают с решениями компании *Keysight*.
- *Romes (Rohde & Schwarz)* – для проведения измерений в большинстве сценариев используется сканер радиочастот (серии *TSMW*, *TSME*), который

улавливает сигналы в заданном диапазоне. Постобработка происходит в специализированном программном обеспечении *Romes 4*.

Также есть бюджетные решения для проведения измерений параметров сотовой связи стандартов *GSM*, *WCDMA*, *LTE* с помощью мобильного терминала пользователя. К таким решениям относится программное обеспечение на *Android* – *GnetTrack* от *GyokovSolutions* и *NetMonitor*. Данные решения позволяют получать информацию о качественных параметрах радиосигнала выбранного в данный момент диапазона.

Опустим глубокий анализ оборудования данных компаний и остановимся на основных параметрах, измеряемых данными устройствами. В соответствии со спецификациями *3gPP* для стандарта *LTE* необходимо измерять параметры радиосигнала, такие как уровень сигнала (*RSSI*) в дБм, отношение сигнал-шум (*SNR*), координаты мобильного терминала *GPS*, уровень битовой ошибки (*BER*). Также необходимо отображать информацию о местоположении базовой станции (*MCC*, *LAC*), принадлежности БС к оператору связи (*MNC*), номер базовой станции (*CellID*), номер частотного канала (*ARFCN*), в том числе и соседних радиоканалов, а также информацию используемой модуляционной схемы.

Благодаря краткому анализу существующих решений был получен перечень основных параметров, необходимых для измерения сетей *LTE*.

Целью, проведенной авторами работы, является реализация устройства для проведения измерений параметров сети *LTE*. Устройство должно поддерживать измерение и отображение приведенных выше параметров. Для реализации данного устройства необходимо рассмотреть вопрос выбора оборудования, реализацию программного кода и корпусное исполнение. Разрабатываемый комплекс также должен обеспечивать следующие функциональные возможности: сбор, обработку и анализ данных, полученных с радио-модуля; вывод информации на дисплей; построение карты покрытия сети и расположения ближайших базовых станций; анализ и сохранение данных в памяти устройства. На рис 1. представлена структурная схема программно-аппаратного комплекса.

#### **Разработка аппаратной составляющей комплекса**

Аппаратная составляющая разработки может быть подразделена на четыре блока, не зависящих от платформы.

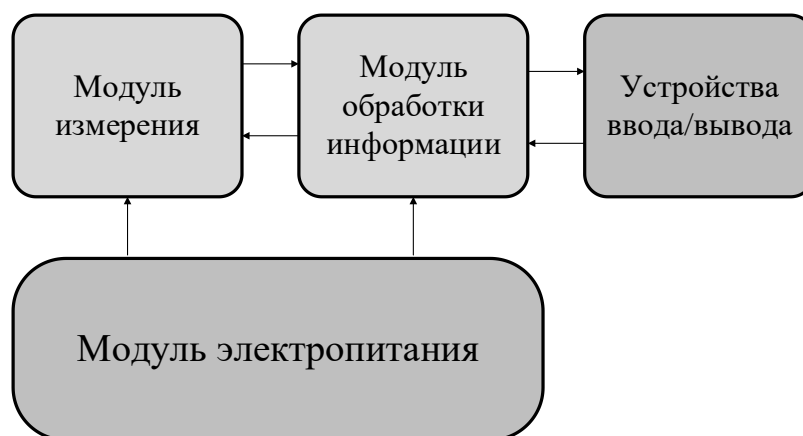


Рисунок 1

*Блок обработки информации* является главным элементом схемы, именно на нем происходит обработка служебной информации, полученной от радио-модуля, декодирование и обработка информации, визуализации и вывод ее на дисплей. Также в некоторых исполнениях устройства на нем происходит запись лог-файла, который содержит все вышеописанные данные для проведения постобработки на персональном компьютере.

*Модуль измерения* производит измерение параметров уровня сигнала и отношения сигнал-шум в реальном времени, перехватывает блоки служебной информации, из которой блок обработки информации декодирует данные о базовой станции и параметрах сети.

*Модуль питания* необходим для запитывания блоков обработки информации, измерения, а иногда и ввода/вывода. В рамках данного модуля возможна реализация автономной работы устройства от аккумуляторных батарей, а также поддержка зарядки батареи.

*Модуль ввода/вывода* служит для вывода информации о радиоизмерениях на экран в понятной для пользователя форме и для получения команд управления от пользователя. Реализация данного модуля может быть различной: либо в виде монолитного устройства с сенсорным и кнопочным управлением, либо в виде программы вывода и пост-обработки результатов измерения на вычислительном устройстве пользователя (ноутбук, планшет, смартфон).

Проведенные исследования [1, 2] показали, что платформа *Arduino* не справляется с обработкой результатов измерения и «захлебывается» в себе. Результат реализации измерителя *GSM* на базе *Raspberry Pi Zero* дал более интересный результат: данная разработка позволила добавить полноценный графический интерфейс, а также увеличить скорость обработки информации с радио-модуля. Поэтому выбор платформы остановился на *Raspberry Pi 3*, что является более мощным решением по сравнению с *Raspberry Pi Zero*. В качестве модуля измерения был радио-модуль компании *SIMCom Wireless Solution SIM7600E* [3], который реализован на чипе *Qualcomm* и поддерживает работу со стандартами *LTE*, *HSDPA*, *HSPA+*, *EDGE*, *GSM*, что полностью удовлетворяет поставленной задаче, а также позволит производить дальнейшие апгрейды устройства. Управление и считывание информации с радио-модуля происходит через интерфейс *USB* специфицированными *AT*-командами [4]. Схема подключения устройства показана на рис. 2.

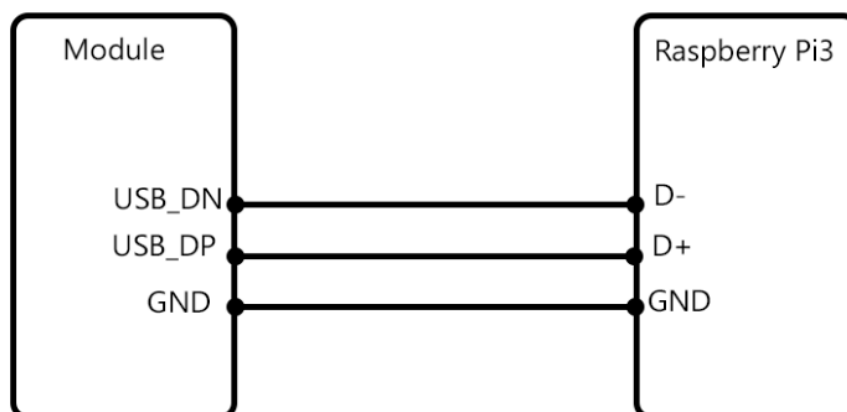


Рисунок 2

На рис. 3 изображена реальная схема подключения *Raspberry Pi 3* с модулем *SIMCom7600E*. К радио-модулю также подключена микрополосковая антенна диапазона частот 900-2600 МГц.

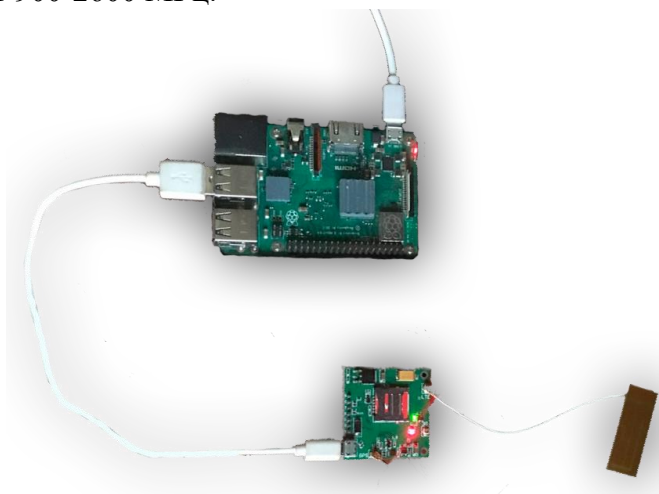


Рисунок 3

Блок ввода-вывода и устройство электропитания могут быть реализованы различными способами, каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

Рассмотрим два варианта:

- 1) Монолитное исполнение корпуса вынесено на рис. 4.

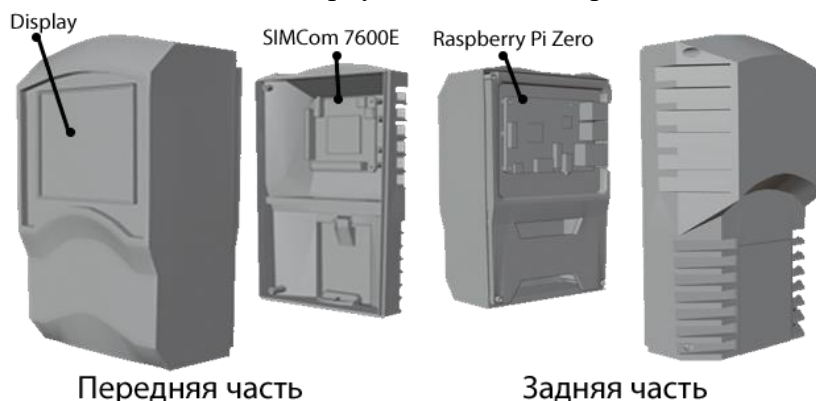


Рисунок 4

Данное исполнение подразумевает, что устройство ввода/вывода информации, например, дисплей (*LCD*, сенсорный), расположены в одном корпусе с блоком обработки информации и модулем измерений. Блок электропитания также расположен внутри корпуса, что подразумевает автономную работу устройства от аккумуляторных батарей. Главной особенностью такого исполнения является мобильность. Для проведения измерений нет необходимости пользоваться сторонним оборудованием, кроме дальнейшей постобработки, если она потребуется. За счет встроенных батарей будет удобно при выполнении драйв-тест измерений или измерений параметров сигнала пешком. Но у данного исполнения есть и свои минусы, главным из которых является плохая вентилируемость корпуса, из-за чего будут происходить перегревы чипсетов блоков обработки информации, а также блока измерения.

2) «Раздельное» исполнение.

В этом случае устройством ввода/вывода информации является стороннее устройство (планшет, ноутбук, смартфон) с предустановленным программным обеспечением для обработки результатов измерения. Подобное исполнение реализовано ведущими компаниями в виде решений *Nemo Invex & Anylyze*, *R&S TSMW & Romes4*. Надо отметить, что *Raspberry* не придется тратить вычислительную мощность процессора на визуализацию информации, и оно сможет полноценно вести декодирование информации из эфира. Раздельное исполнение устройства может быть менее мобильным, чем монолитное, однако будет явно выигрывать в скорости обработки информации.

### Реализация программного обеспечения устройства

Основной концепцией в разработке программного обеспечения для измерителя мобильной связи стало сочетание использования процедурного и объектно-ориентированного программирования (ООП).

Разработка программного обеспечения велась для операционной системы *Raspbian*, основным языком программирования является *Python* [5]. В данном пункте необходимо описать процесс общения *Raspberry PI 3* с радио-модулем *SIM7600E*, обработку информации на *Raspberry* и вывод данной информации.

Как сказано ранее, основным языком общения с радио-модулем являются *AT*-команды. Это связано с тем, что модуль *SIMCom* базируется на чипсете *Qualcomm*, основным языком общения с которым служат *AT*-команды. Например, листинг команд для получения сведений об уровне сигнала с использованием *AT*-команд из библиотек спецификаций чипа *SIM7600E* может выглядеть следующим образом:

```
SIM7600.echo('Gettin signal level...')
module_min = 2
module_max = 30
dbm_min = -110
dbm_max = -54
module_value_span = module_max - module_min
actual_dbm_span = dbm_max - dbm_min
self.write('AT+CSQ')
reply = self.read()
find_level = re.findall("\d+\.\d+", reply)
if find_level != []:
    reply = find_level[0]
    reply = reply.replace('.', '')
    module_csq_output = float(reply)
    valueScaled = float(module_csq_output - module_min) /
float(module_value_span)
    signal_level = dbm_min + (valueScaled * actual_dbm_span)
    return signal_level
```

Листинг программы также является примером использования ООП вместе с использованием класса *LTE\_module* для упрощения работы с радиомодулем. Данный класс содержит в себе набор методов, процедур и функций для работы с радиомодулем. Использование класса *GSM\_module*, использованного в [2], также позволит добиться масштабируемости ПО для работы с несколькими радио-модулями различных стандартов.

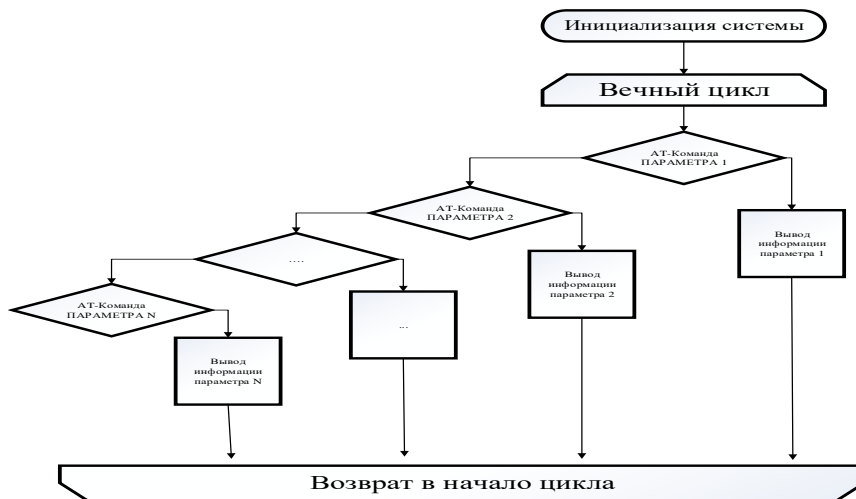


Рисунок 5

Учитывая, что подобные операции, как вывод сведений о доступных операторах, так и считывание уровня сигнала и других параметров, происходит одновременно в различных частях программы, использование ООП для реализации поставленной задачи более чем оправдано.

Весь листинг программы можно свести в простую блок-схему, вынесенную на рис. 5.

Работа программно-аппаратного комплекса начинается с инициализации системы. *Raspberry* проверяет работоспособность системы, с помощью *AT*-команд инициализирует работу *SIM7600E* и после запуска основной программы выводит сообщение о начале работы. Далее устройство переходит в нормальный режим работы и начинает вывод параметров сигнала.

Выше был указан пример кода для получения с *SIM7600* уровня сигнала, примерно так выглядит один блок на приведенной блок-схеме (рис. 5). В соответствии с проведенным анализом также необходимо выводить данные о местоположении мобильного терминала, листинг вывода которого приведен ниже.

```

def get_gps_location(self):
    t = time.time()
    command = "AT+CGPSINFO=1,1\r\n"
    self.port.write(command)
    raw_response = ""
    while raw_response.find('+CGPSINFO') == -1:
        raw_response += self.port.read(1)
    raw_response = self.read()
    find_location = re.findall("\d+\.\d+", raw_response)
    location = []
    location.append(float(find_location[1]))
    location.append(float(find_location[0]))
    print(time.time() - t)
    return location
  
```

В данном листинге программы *AT*-команда "AT+CGPSINFO" запрашивает местоположение устройства с радиомодуля *SIM7600E*.

После описания методов получения информации с радиомодуля необходимо описать методы вывода информации на дисплей. Как указывалось, ранее, выбор дисплея может быть опциональным. Для работы использовался *TFT*-дисплей 3,2 дюйма в монолитном исполнении, и использовался ноутбук в варианте отдельного исполнения устройства.

Начнем с *TFT*-дисплея. Управление дисплеем происходит по *SPI* интерфейсу с использованием встроенного драйвера *ILI9341*. Для интеграции данного дисплея используется стандартная библиотека [5-6]. Пример вывода информации на дисплее изображен на рис. 6.



Рисунок 6

На рисунке показано главное меню устройства с отображением текущего уровня сигнала, координат устройства, а также список доступных операторов. На правом рисунке выведена таблица соседних базовых станций с указанием параметра *RSSI* (*RxLevel*). Также реализован вывод информации в графическом виде, например, вывод графиков *RSSI* по времени или *SNR* по времени.

Вариант отдельного исполнения подразумевает наличие специализированного ПО или *web*-интерфейса для общения с устройством. Речь идет об адаптивном *web*-интерфейсе, изображенном на рис. 6.



Рисунок 7

На рис. 7 представлено главное меню веб-интерфейса с отображением графиков уровня сигнала, значения *BER*, а также оставшейся памяти на устройстве,



что важно при ведении длительных логов. На сегодняшний день реализовано отображение параметров сигнала в реальном времени, таких как *RSSI*, *SNR*.

### **Заключение**

В рамках проведенной работы продемонстрирован процесс создания устройства для проведения измерений параметров мобильной связи стандарта *LTE*. В ходе сравнения существующих решений был получен список основных параметров измерений, большая часть из которых была реализована. В результате реализованы измерения следующих параметров: уровня сигнала, отношения сигнал-шум, уровня битовой ошибки, отображения номера частотного канала, отображения данных о соседних сотах, отображения принадлежности базовых станций к операторам связи. На данном этапе исследования не удалось достичь отображения информации на онлайн-картах в режиме реального времени, автономной работы устройства, что напрямую связано с высоким потреблением элементов, а также с неоптимизированным на данный момент программным кодом устройства. В ближайшем будущем планируется решить данные проблемы.

### **Литература**

1. Мошков В.В., Андреев Р.А., Прасолов А.А. Разработка программно-аппаратного комплекса для проведения измерений параметров сети мобильной связи на базе Arduino Mega // Экономика и качество систем связи, 2019. – № 4. – С. 53-61.
2. Румянцев Д.Ю., Андреев Р.А., Мышьянов С.В. Разработка программно-аппаратного комплекса для проведения измерений параметров сети мобильной связи на базе Raspberry PI // Экономика и качество систем связи, 2019. – № 4. – С. 61-68.
3. LTE-FDD/LTE-TDD/HSPA+/GSM Module SIM7600E, [http://mt-system.ru/sites/default/files/documents/sim7600\\_series\\_hardware\\_design\\_v1.04.pdf](http://mt-system.ru/sites/default/files/documents/sim7600_series_hardware_design_v1.04.pdf), 21.04.2020.
4. SIM7500\_SIM7600 Series\_AT\_Command Manual, [http://www.mt-system.ru/sites/default/files/documents/sim7500\\_sim7600\\_series\\_at\\_command\\_manual\\_v1.12.pdf](http://www.mt-system.ru/sites/default/files/documents/sim7500_sim7600_series_at_command_manual_v1.12.pdf), 21.04.2020.
5. Shaw Z.A. Learn Python The Hard Way. 2010.
6. Библиотека для 3.2" TFT-дисплея, [https://roboshop.spb.ru/index.php?route=product/product/download&product\\_id=2774&download\\_id=139](https://roboshop.spb.ru/index.php?route=product/product/download&product_id=2774&download_id=139), 21.04.2020.