

# Создание сотовых приложений IoT

с использованием набора AE-CLOUD2

**Интеграция устройств «Интернета вещей» (Internet of Things, IoT) в системы сотовой сети представляет собой совершенно новую задачу для разработчиков встраиваемых приложений. Проблема осложняется тем, что в связи со стремительными изменениями на рынке сотовой связи инженеры, работающие в сфере «Интернета вещей», должны иметь возможность быстро понимать и оценивать новые внедряемые технологии сотовой связи, чтобы их IoT-продукты были востребованными, да и сами компании оставались конкурентоспособными. В предлагаемой статье описывается, как комплект AE-CLOUD2 от компании Renesas, выполненный на основе микроконтроллера Renesas Synergy с системой поддерживающих датчиков, позволяет инженерам быстро оценивать новые сотовые технологии и создавать встраиваемые IoT-устройства с использованием сотового модема.**

**Джейсон Чие (Jason Chien)**  
Перевод: Владимир Рентюк

## Введение

В настоящее время разработка встраиваемых приложений претерпела трансформацию, и одним из основных факторов, стоящих за этими изменениями, был и остается «Интернет вещей». В прошлом у кофеварки была примитивная электроника, задача которой ограничивалась управлением мощностью, нагревом воды или установками таймера для автоматического включения, чтобы утром вас ожидала чашка бодрящего свежесваренного ароматного кофе. Сегодня кофеварки имеют функции, подобные смартфонам, такие как цветная графика и экраны. Что касается IoT-кофеварок, то теперь им нужен тот или иной способ подключения к Интернету и возможность управления через мобильные приложения со смартфонов.

«Интернет вещей» заставил разработчиков встраиваемых приложений пересмотреть свое отношение к созданию устройств, изменив и мышление, и сами подходы к проектированию таких продуктов. Прежде инженерам нужно было сосредоточиться лишь на интеграции датчиков и электронных периферийных устройств с микроконтроллером. Теперь же, с внедрением IoT-разработчики имеют дело с установлением подключения к Интернету, которое требует выбора между различными технологиями, такими как Ethernet, Wi-Fi и сотовая связь, и управления различными стеками протоколов, необходимыми для поддержки этих опций.

Словом, данная техническая комбинация, лежащая в основе технологии «Интернета вещей», действительно требует от разработчиков встраиваемых приложений пересмотра

традиционных подходов. В статье, кроме общих вопросов и сопутствующих проблем, рассматривается и эволюция сотовых технологий для использования совместно с IoT-устройствами, а также то, как аппаратное обеспечение комплекта AE-CLOUD2 и пакет программного обеспечения из платформы Renesas Synergy Platform компании Renesas помогают специалистам успешно создавать приложения «Интернета вещей».

## Эволюция сотовой связи для IoT

В то время как Wi-Fi и Ethernet являются относительно зрелыми технологиями сетевого подключения, для разработчиков встраиваемых приложений и IoT сотовая связь представляет собой переход на совершенно новый уровень. Если оглянуться назад, то сотовая связь, за исключением ограниченных приложений, не была оптимальным и приемлемым решением для широкого использования в приложениях IoT. Камнем преткновения здесь стало высокое энергопотребление и большие затраты на ее внедрение в рамках продвижения IoT, что сделало ее просто непригодной для широкого распространения. Часть ограничений сотовой связи заключалась в том, что сотовые сети изначально спроектированы для того, чтобы беспрепятственно передавать голосовые сообщения с сотового телефона, где соединение должно сохраняться при переходе от одной базовой станции к другой станции сотовой связи. Эта архитектура требовала постоянного соединения между башней, обслуживающей ячейку (соту), и телефоном, чтобы обеспечить

заданный уровень качества телефонного звонка. Постоянное общение внутри сотовой структуры означало высокий уровень энергопотребления. Требование к высококачественной голосовой связи также означало, что цены на сотовые сети и тарифный план должны гарантировать, что при переходе между сотами голосовые сообщения будут передаваться без пауз на перестройку и переключение, то есть бесшовно, а проще говоря — незаметно для пользователя.

С началом внедрения «Интернета вещей» акцент применения сотовой связи сместился. Теперь она используется не только для обмена голосовыми сообщениями, как предполагалось изначально. Сегодня IoT-устройства передают через систему сотовой связи небольшие пакеты данных от своих датчиков. При этом для IoT-устройств не требуется такое же качество соединения, как для телефонной связи; кроме того, многие IoT-приложения являются стационарными, а не движущимися (мобильными), как в случае с сотовой телефонией. В ответ на эти изменяющиеся условия использования мобильной связи многие организации, занятые разработкой стандартов сотовой связи, и мобильные операторы выпустили на рынок новые сотовые технологии, не только предназначенные, но и оптимизированные именно для приложений «Интернета вещей». Здесь следует отметить два относительно новых стандарта сотовой сети — CAT-M (официально известный как LTE Cat-M1) и LTE CAT-NB1 (NB-IoT — NarrowBand IoT, NarrowBand Internet of Things), которые представляют собой два разных типа технологии сотовой связи четвертого поколения, 4G LTE (Long-Term Evolution — буквально: долговременное развитие). CAT-M и NB-IoT сокращают энергопотребление устройств, действующих в сети сотовой связи, позволяя IoT-устройствам оставаться в спящем режиме в течение продолжительных периодов и затем подключаться к сотовой сети на несколько секунд или минут. Новые протоколы сети оптимизируют передачу данных с помощью нелицензированных и неиспользуемых частот защитной полосы между каналами лицензированного сотового спектра, которые позволяют голосовым вызовам (что, собственно, и является основной задачей сотовой связи) мирно сосуществовать с данными, отправляемыми устройствами «Интернета вещей».

CAT-M1 и NB-IoT хорошо подходят для удаленных или мобильных приложений, не всегда расположенных вблизи фиксированного интернет-соединения, такого как Ethernet или беспроводная точка доступа Wi-Fi. Типичные области применения включают отслеживание активов, носимые (надеваемые на тело) устройства, парковочные счетчики, мониторы слежения, предназначенные для сельского хозяйства и городской инфраструктуры. Если говорить более конкретно, то CAT-M1 оптимален для приложений IoT, требующих высокой надежности и низкого значения задержки передачи данных, поддерживает аутентификацию, учетную запись и шифрование. Исходя из этого, в первую очередь над развертыванием технологии CAT-M1 работало большинство североамериканских операторов сотовой связи.

Таблица 1. Сравнение технических характеристик и особенностей технологий CAT-M1 и NB-IoT

	CAT-M1 (eMTC)	NB-IoT
Поддержка стандарта LTE 3GPP (релиз)	R13	R13
Пиковая скорость нисходящей линии связи	1 Мбит/с	250 кбит/с
Пиковая скорость восходящей линии связи	250 кбит/с (многоканальная)	20 кбит/с (одноканальная)
Количество антенн	1	1
Дуплексный режим	Полный или полудуплекс	Полудуплекс
Полоса пропускания в режиме приема	1,08 МГц	180 кГц
Приемник	1 поток (SISO)*	1 поток (SISO)*
Мощность передачи	20/23 дБм	20/23 дБм
Поддержка VoLTE**	Имеется	Отсутствует
Поддержка мобильности	Полная мобильность	Отсутствие мобильности (повторный выбор соты только через режим ожидания)
Преимущества	Большая зона покрытия. Возможно пиковое увеличение скорости передачи данных и широкая доступность	Большая гибкость в спектре, который может быть использован в режимах работы (внутриполосный, в защищенной полосе частот, автономный); более дешевый в реализации и использовании

**Примечания.**

\* Single Input Single Output — один вход, один выход.

\*\* VoLTE — Voice over LTE («голос через LTE»). Это технология передачи голоса посредством сетей LTE.

В отличие от CAT-M1 протокол NB-IoT не поддерживает режим hand off (буквально: передача из рук в руки). То есть плавную передачу управления от одной ячейки (соты) к другой при физическом перемещении абонента сотовой сети, чтобы для него не было нарушений связи, когда устройство находится в подключенном состоянии. Вместо этого устройства могут выбирать и подключаться к вышке сотовой связи, когда соединение простаивает. С учетом подобного ограничения мобильности протокол NB-IoT предпочтителен для устройств и датчиков, нечасто передающих данные, — например, тех, что большую часть времени находятся в спящем режиме или в режиме ожидания и только периодически подключаются к сети. Еще одно отличие NB-IoT от CAT-M1 заключается в том, что NB-IoT не поддерживает голосовые сообщения. Первыми начали развертывать сети на основе NB-IoT операторы сотовой связи в Европе.

В таблице 1 сравниваются технические характеристики и особенности технологий CAT-M1 и NB-IoT.

## Комплект AE-CLOUD2

Комплект AE-CLOUD2 (рис. 1) создан компанией Renesas Electronics America Inc. (далее — Renesas), чтобы помочь разработчикам встраиваемых IoT-решений быстро и легко оценить такие сотовые технологии, как CAT-M1 и NB-IoT. Комплект может использоваться не только для быстрого создания IoT-приложений с применением встроенных датчиков температуры, влажности, GPS, магнитометра и микрофона, но и для подключения через каналы сотовой связи, Ethernet или Wi-Fi. Трехрежимный сотовый модем Quectel BG96, подключаемый в виде приставки к печатной плате — шилду (плата расширения для модуля микроконтроллера), поддерживает частоты CAT-M1 и NB-IoT, 2G и GPS, с антеннами для сотовой сети и GPS, средства подключения



Рис. 1. Комплект AE-CLOUD2, разработанный и предлагаемый компанией Renesas

Ethernet и точки доступа Wi-Fi, а также содержит различные датчики: микрофон Knowles SPM0687LR5H-1, датчик освещенности Renesas ISL29035, датчик температуры, влажности, давления и качества воздуха Bosch BME680, геомагнитный датчик Bosch BMM150, акселерометр и гироскоп Bosch BMI160. Для сотового подключения к комплекту достаточно добавить лишь SIM-карту местного оператора.

Сотовая интеграция AE-CLOUD2 позволяет разработчикам быстро оценивать оба указанных варианта сотовой связи. Кроме того, в зависимости от загруженного образа микропрограммного обеспечения AE-CLOUD2 может либо подключиться к облачному комплекту инструментальных средств Renesas Synergy Enterprise Cloud Toolbox, либо к любому IoT-облаку по выбору. Инструмент Renesas Synergy Enterprise Cloud Toolbox — это демонстрационная версия, которая позволяет за 10 мин подключаться к веб-сервисам Amazon, Microsoft Azure или Google Cloud Platform. В Renesas Synergy Enterprise Cloud Toolbox предусмотрена визуализация данных, поступающих с датчиков, которая осуществляется на настраиваемой панели с защитой паролем.

Преимущества комплекта AE-CLOUD2:

- Быстрая оценка решения, прототипирование и разработка приложений облачного соединения.
- Быстрая и бесшовная оценка новых сотовых технологий CAT-M и NB-IoT.
- Поддержка программного обеспечения для подключения к облачным сервисам от Amazon, Microsoft и Google.
- Сертифицированный и сконфигурированный инструмент разработки сотовой сети с поддержкой частот сотовой сети и сертификацией, позволяющей использовать комплект в любой точке мира.
- Сотовые, Wi-Fi- и Ethernet-соединения.
- Поставляется с уже установленными датчиками и GPS.

В следующих разделах мы обсудим содержание комплекта AE-CLOUD2, его сертификаты и реализуемые при его использовании встраиваемые решения на основе сотовой связи. Все эти элементы предоставляют разработчику средства для быстрой и легкой сборки прототипа или приложения сотовых IoT-решений. Как мы уже говорили, IoT требует сочетания нескольких

технологий, подразумевающих различные подходы. Наличие этих комбинаций в одном устройстве позволяет разработчику сосредоточиться на построении полностью готового комплексного инженерного решения.

## Базовая плата — микроконтроллер Synergy S5D9 (MCU)

Комплект AE-CLOUD2 содержит в качестве основы базовую плату, выполненную на микроконтроллере Renesas Synergy S5D9, которая отличается богатой функциональностью, идеально подходит для прототипирования широкого спектра решений «Интернета вещей». На рис. 2 показана плата (вид сверху), построенная вокруг универсального микроконтроллера Renesas Synergy S5D9. Реализованный непосредственно на плате программатор J-Link от компании Segger вместе с микроконтроллером Renesas Synergy S124 полностью обеспечивает весь интерфейс отладки, так что нет необходимости в каких-либо внешних программирующих устройствах. Плата интегрирована со многими датчиками, внешней флэш-памятью, разъемами Ethernet PHY (Ethernet физического уровня), Arduino, Grove и PMOD™, кнопками и светодиодами.

## Системная архитектура платы микроконтроллера

Для создания максимальной гибкости в устройствах «Интернета вещей» предусмотрены самые разнообразные датчики и, естественно, возможности сетевого подключения. Это позволяет охватить различные варианты использования и быстро реагировать на меняющиеся потребности данного рынка. Ядром IoT-продукта служит микроконтроллер, поскольку именно он решает все вопросы управления и функционирования встраиваемого решения. Микроконтроллер с поддержкой ряда интерфейсов и опций последовательного протокола имеет важное значение для связи с любыми датчиками, которые могут потребоваться для конкретного приложения. На рис. 3 приведена

блок-схема платы микроконтроллера, на которой показаны основные компоненты платы, а также поддержка различных интерфейсов с их периферийными компонентами.

Плата микроконтроллера комплекта AE-CLOUD2 компании Renesas содержит следующие основные компоненты:

- Микроконтроллер Synergy S5D9 с флэш-памятью 2 Мбайт (для записи кода)/640 кбайт ОЗУ/64 кбайт флэш-память данных.
- Quad-SPI Flash — флэш-память микроконтроллера, расширяемая с помощью внешней 32-Мбайт памяти, подключенной через высокоскоростной интерфейс QSPI. Внешняя флэш может использоваться для хранения графики и других цифровых активов или для выполнения программного кода на месте, непосредственно с постоянного запоминающего устройства, на котором он находится, без предварительной загрузки в оперативную память (XIP — execute-in-place).
- Назначаемые пользовательские светодиоды (СИД) полезны для индикации текущего состояния прошивки. Для удобства идентификации три светодиода имеют разные цвета.
- USB-интерфейс — микроконтроллер S5D9 содержит один работающий на полной скорости USB-интерфейс. Кроме того, разъем USB предназначен для питания платы.
- Разъем интерфейса PMOD (Peripheral Module interface) — плата включает один 12-контактный PMOD-разъем, который может быть сконфигурирован с помощью перемычки для обеспечения 3,3 или 5 В на своих выводах питания. Разъем позволяет взаимодействовать с другими устройствами через последовательный интерфейс системного программирования SPI или UART.
- Разъемы Grove совместимы с линейкой периферийных модулей Seeed Studio, которая содержит очень большой набор датчиков и исполнительных механизмов (актуато-



Рис. 2. Базовая плата комплекта AE-CLOUD2, выполненная на микроконтроллере Renesas Synergy S5D9

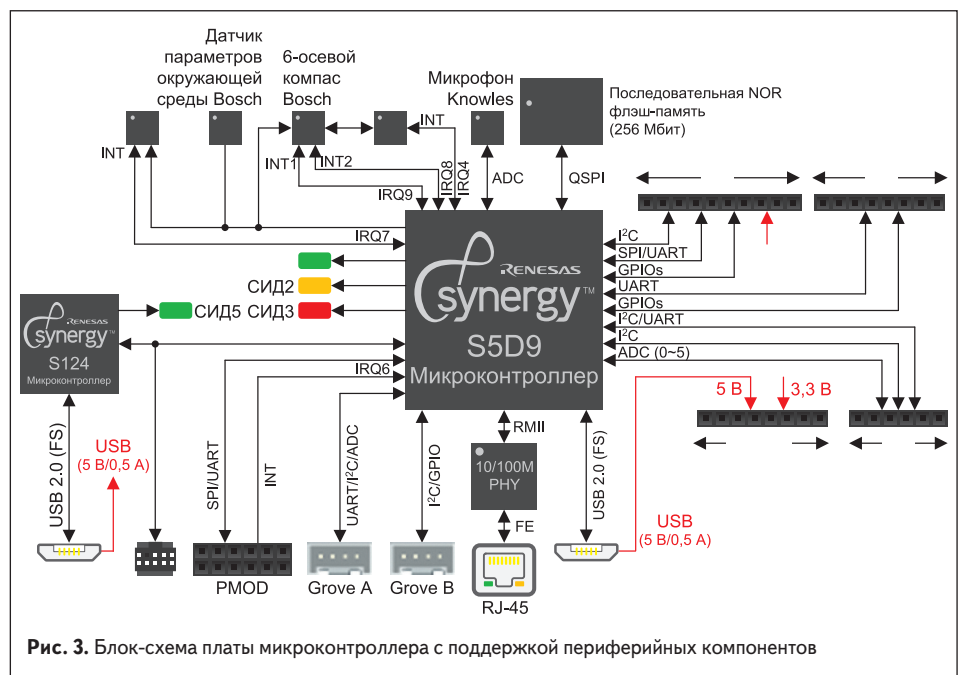


Рис. 3. Блок-схема платы микроконтроллера с поддержкой периферийных компонентов

ров). Один из разъемов Grove может быть сконфигурирован для связи через UART, а другой предназначен для интерфейса I<sup>2</sup>C.

- Выполненный на плате программатор J-Link от компании Segger на базе микроконтроллера Renesas Synergy S124 используется для отладки.
- Интерфейс JTAG, доступный на 10-контактном разъеме (J20), совместим с отладчиком Segger.

Плата имеет несколько датчиков и возможности подключения для создания приложения «Интернета вещей», которое может отслеживать и сообщать данные от нескольких датчиков. Наличие такого приложения помогает клиентам понять его концепцию и ценность. Мониторинг служит основной отправной точкой, поскольку позволяет пользователю узнать текущее состояние окружающей среды, из которой можно собрать больше информации. Благодаря множеству встроенных датчиков и возможностей подключения разработчик создает приложения, способные эффективно работать в самых разных сферах применения. Варианты подключения и встроенные датчики распределяются следующим образом.

#### Wi-Fi: Wi-Fi-модуль GT202

Канал Wi-Fi на плате выполнен на основе модуля GT202, содержащего устройство Qualcomm Atheros QCA4002 — систему на кристалле (system-on-a-chip, SoC), реализующую стандарты связи 802.11 b/g/n. Модуль оптимизирован для маломощных встраиваемых приложений с однопоточковой возможностью для передачи и приема. SoC QCA4002 имеет интегрированный сетевой процессор с большим набором TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol — протокол управления передачей/интернет-протокол) с поддержкой IPv4/IPv6-сервисов. К ним можно получить доступ через высокоскоростной интерфейс SPI, доступный на 12-контактном PMOD-разъеме. Модуль Wi-Fi GT202 объединяет QCA4002 SoC на несущей плате, который предоставляет три различных варианта подключения к хосту:

- SPI-интерфейс через разъем PMOD — используется для взаимодействия с платой AE-CLOUD2 и источником питания. Этот интерфейс обеспечивает высокую скорость связи и доступ к полной функциональности сети.
- Интерфейс SDIO/UART предусмотрен для быстрого прототипирования и низких скоростей связи (комплект AE-CLOUD2 не используется).
- Интерфейс USB/Hostless предназначен для быстрого прототипирования, диагностики и альтернативного источника питания (комплект AE-CLOUD2 не используется).

#### Разъем RJ-45 Ethernet (Hanrun Electronics, Ltd, номер по каталогу HR915102AE)

AE-CLOUD2 оснащен стандартным Ethernet-разъемом RJ-45 со встроенными ферритами. Ethernet физического уровня подключается к микроконтроллеру через интерфейс RMII.

#### Акселерометр, гироскоп и магнитометр Bosch Sensortec — BM1160 и BMM150

BM1160 — сверхминиатюрный, маломощный и малошумный 6-осевой акселерометр и гироскоп.

Интегрированный акселерометр обеспечивает все функции современного 12-разрядного акселерометра Sensortec от Bosch, включая 32-кадровый буфер FIFO, который хранит данные ускорения.

Интерфейс к микроконтроллеру основан на протоколе I<sup>2</sup>C.

#### Датчик окружающей среды Bosch Sensortec — BME680

BME680 — цифровой датчик «4-в-1» с измерением влажности, давления, температуры и качества воздуха (примесей газов) на основе проверенных принципов восприятия.

Интерфейс к микроконтроллеру основан на протоколе I<sup>2</sup>C.

#### Датчик освещенности Renesas — ISL29035

Датчик освещения ISL29035 представляет собой интегрированный преобразователь освещенности окружающей среды, в том числе и в инфракрасном диапазоне, в цифровой формат с интерфейсом в виде шины I<sup>2</sup>C. Его усовершенствованная самокалибрующаяся матрица фотодиодов эмулирует реакцию человеческого глаза с превосходным подавлением ИК-спектра. Встроенный 16-разрядный АЦП способен подавлять мерцание с частотами 50 и 60 Гц, характерными для систем искусственного освещения. Функция выбора диапазона в люксах (Lux) позволяет программировать диапазон освещенности для оптимизированного соотношения выборок к уровню освещенности.

Интерфейс к микроконтроллеру основан на протоколе I<sup>2</sup>C.

#### МЭМС (микроэлектромеханический) микрофон Knowles SPM0687LR5H-1

SPM0687LR5H-1 — миниатюрный высокопроизводительный микрофон с низким энергопотреблением, выполненный на кремниевой основе. Он состоит из акустического датчика, маломощного входного буфера и выходного усилителя.

Устройство имеет следующие основные характеристики:

- усиление: 20 дБ;
- низкое потребление мощности;
- максимальная защита радиочастотных сигналов;
- высокая стабильность характеристик при внешних воздействиях;
- диаграмма направленности: ненаправленная.

#### Arduino-совместимые расширения

Разработчики IoT часто используют платы расширения Arduino (шилды) для быстрой оценки новых вариантов аппаратного обеспечения своего приложения. Плата микроконтроллера S5D9 имеет совместимые с Arduino разъемы, которые позволяют расширять ее возможно-

сти с помощью большой экосистемы шилдов Arduino. Многие интерфейсные сигналы подключаются непосредственно к выводам микроконтроллера, что позволяет изменять конфигурацию в соответствии с потребностями приложения. Сотовая поддержка набора AE-CLOUD2 обеспечивается за счет расширения, которое также может быть реализовано с помощью сотового шилда Arduino.

#### Физические размеры

Для приложений прототипирования IoT небольшая по размеру плата часто используется разработчиками в качестве доказательства концепции или для демонстрации. Размер платы микроконтроллера S5D9 оптимизирован для обеспечения широкого спектра приложений прототипирования в области «Интернета вещей». Ее размер не превышает размеров кредитной карты, что позволяет размещать плату в самых разнообразных местах, в том числе внутри других устройств или как добавление возможностей IoT в существующее приложение (рис. 4а). Чем меньше размер платы, тем больше электроники можно разместить в существующем пространстве, следовательно, увеличиваются и возможности конечного устройства. Размер базовой платы S5D9 (рис. 4б) делает ее оптимальной и для прототипирования IoT, и для использования одной и той же платы (естественно, если позволяет имеющееся пространство) непосредственно в производстве.

#### Плата обеспечения сотовой связи

При создании сотовых IoT-устройств разработчики должны определить, какой тип встроенного сотового решения предпочтителен в конкретном случае. Типичными параметрами для выбора здесь служат использование встроенного сотового набора микросхем, уже готового встроенного модуля или встроенной платы решения. Все встраиваемые приложения, которые включают их выпуск с сотовым чипом, должны не просто обеспечивать работу на той или иной радиочастоте, но и иметь возможность подключаться к сотовой сети. Несмотря на то, что разработчик встраиваемого приложения может интегрировать сотовый чип в свою конструкцию, дело не ограничивается выбором чипа — потребуются и большие затраты времени и усилий на проектирование, и расходы на проведение сертификации IoT-устройства с каналом сотовой связи. В качестве варианта вместо набора микросхем инженер-разработчик может выбрать и использовать уже готовый модуль, который из-за меньшей сложности и общей стоимости встроенного решения хорошо подходит для продукции, чей выпуск планируется в небольших объемах. Такие модули коммерчески доступны, а сертификация для работы в сети уже, как правило, выполнена их производителем. Именно для того, чтобы ускорить создание набора и быстрее передать его в руки разработчиков, в комплекте AE-CLOUD2 применен предварительно сконфигурированный сотовый модуль.

С помощью сотового модуля для встроенного дизайна разработку удается уско-

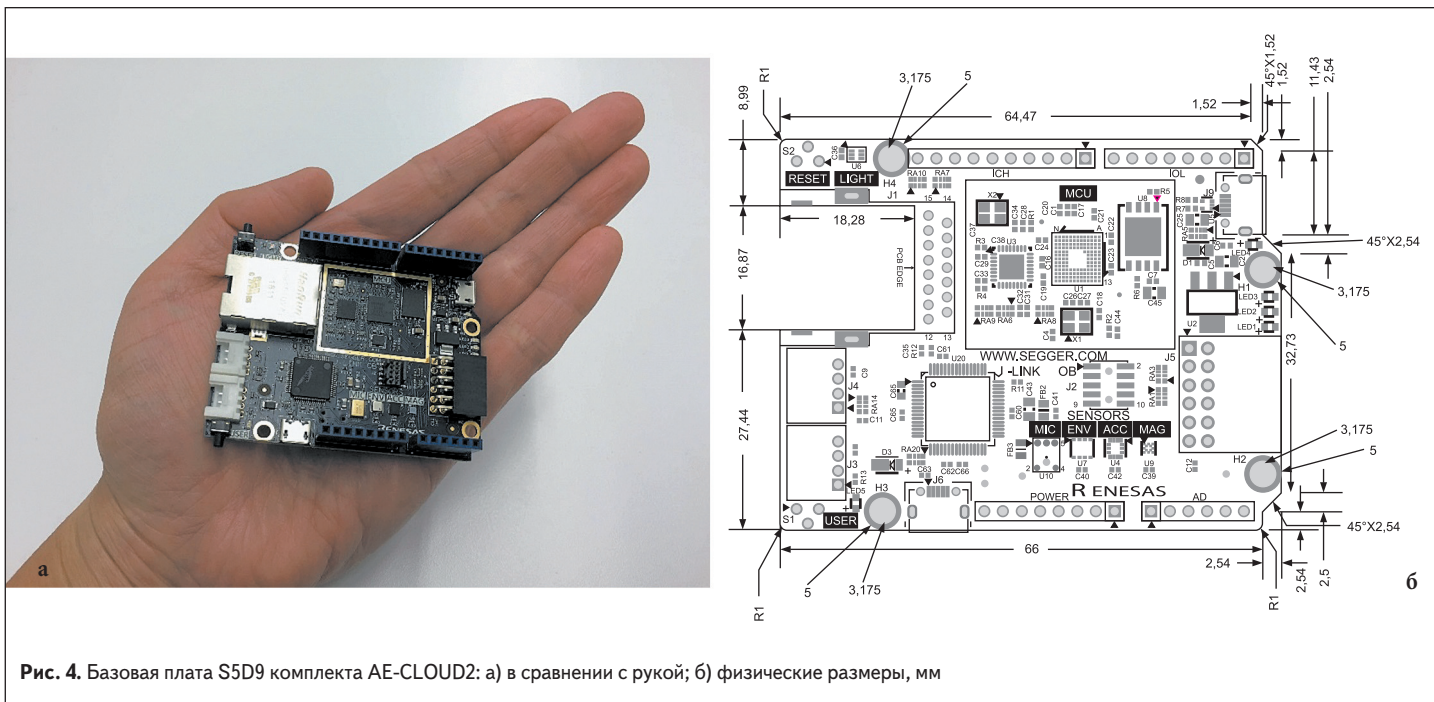


Рис. 4. Базовая плата S5D9 комплекта AE-CLOUD2: а) в сравнении с рукой; б) физические размеры, мм

речь, однако проблемы могут возникнуть непосредственно при интеграции модуля во встраиваемое приложение. Например, интеграция сотового модуля часто предполагает согласование технических проблем на уровне между производителем модуля, компанией — поставщиком сотового чипа, мобильным оператором, предоставляющим тарифный план, и облаком IoT, к которому подключается разрабатываемое встраиваемое IoT-решение. Обычный сценарий состоит в том, что встроенное устройство не может подключаться к IoT-облаку с помощью сотового модуля. Первый шаг по устранению неполадок — обеспечение правильной отправки последовательности команд AT<sup>1</sup> на сотовый чипсет.

Проблемы с переданной AT-командой могут быть связаны с версией прошивки сотового чипсета, необходимой для поддержки используемых сотовых частот. Для сотовых модулей проблемы могут быть связаны с чипсетом сотовой связи, требующим обновления прошивки для устранения неполадок с поддерживаемым набором AT-команд или

для поддержки дополнительного сотового оператора. Если отправлен правильный набор AT-команд, то следующий шаг — проверка сотовой связи, чтобы убедиться в правильной работе модема и тарифного плана. При подключении к сотовой сети могут возникнуть такие проблемы, как обеспечение адекватного покрытия и уровень сигнала в конкретной локальной зоне. Наконец, следует отметить, что при разработке сотовых встраиваемых решений наибольшие усилия связаны с тем, что проектировщик IoT-приложения должен взять на себя координацию действий различных технических заинтересованных сторон, чтобы определить основные причины возникающих проблем и устранить их.

Комплект AE-CLOUD2 обеспечивает сотовую связь, используя модем Quectel BG96, установленный на плате Arduino Shield. Модуль BG96 поддерживает несколько сотовых стандартов, а также приемник GPS, который позволяет создавать прототипы приложений с отслеживанием местоположения. В таблице 2 описывается глобальная поддержка частот модулем BG96.

Таблица 2. Глобальная поддержка частот модулем BG96

3GPP Диапазон	Полоса передачи, МГц	Полоса приема, МГц	CAT-M1	NB-IoT	GSM/GPRS
B1	1920-1980	2110-2170	x	x	
B2 (PCS 1900)	1850-1910	1930-1990	x	x	x
B3 (DCS 1800)	1710-1785	1805-1880	x	x	x
B4	1710-1755	2110-2155	x	x	
B5 (GSM850)	824-849	869-894	x	x	x
B8 (GSM900)	880-915	925-960	x	x	x
B12	699-716	728-746	x	x	
B13	777-787	746-757	x	x	
B18	815-829,9	860-874,9	x	x	
B19	830-844,9	875-889,9	x	x	
B20	832-862	791-821	x	x	
B26	814-848,9	859-893,9	x	x	
B28	703-748	758-803	x	x	
B39	1880-1920	1880-1920	x		

Примечание. x — есть в наличии.



Рис. 5. Плата сотового модема BG96

## Плата сотового модема BG96

Общий вид платы сотового модема BG96 показан на рис. 5.

## Блок-схема подключения сотового модема BG96

Сотовые приложения «Интернета вещей» охватывают множество различных сфер и приложений. Благодаря все более глобальному характеру продуктов, а также быстрым изменениям в технологии SIM-карт очень важно иметь сотовую плату, способную функционировать на различных сотовых частотах. Модуль BG96 поддерживает как физическую SIM-карту, так и электронную SIM-карту (e-SIM), что позволяет разработчикам быстро тестировать любые SIM-карты любого мобильного оператора во всем мире. Бывает и так, что разработчики могут столкнуться с проблемами, связанными с поиском сотового модуля, который поддерживает технологию сотовой связи, развернутую в конкретной стране, — CAT-M1 или NB-IoT. Благодаря поддержке обоих про-

<sup>1</sup> AT (от англ. attention — «внимание») представляет собой набор команд, предложенных в 1977 году компанией Hayes для разработки собственного модема Smartmodem 300 baud. — Прим. пер.

токолов модуль BG96 позволяет инженерам тестировать сотовые частоты в любой точке мира независимо от статуса поддержки сотовой сети оператора мобильной связи. На рис. 6 показаны подключения модуля BG96 к основным компонентам и интерфейсам, доступным для периферийных устройств.

### Глобальная сертификация

Наличие глобальных (международных) сертификатов для радиочастотных продуктов (именно о них и пойдет речь далее) демонстрирует не только качество решения, но и его соответствие законам и правилам, действующим в конкретном регионе. Такие сертификаты подтверждают, что устройство соответствует определенным стандартам, связанным с методами, качеством изготовления и используемыми материалами.

При получении сертификатов встроенное сотовое устройство в ходе его разработки должно пройти несколько этапов испытаний. Для сертификации устройства как радиочастотного продукта предварительная проверка выполняется еще до подачи его документов на сертификацию. Это необходимо, чтобы определить, пройдет ли устройство сертификационные испытания или могут возникнуть какие-либо проблемы. Если встраиваемое сотовое устройство не могло выполнить предварительное сканирование, оно должно пройти дополнительные тесты и отладку. Такие действия необходимы для того, чтобы выявить конкретные недочеты, которые мешают изделию пройти сертификационное тестирование в качестве радиочастотного устройства. Зачастую проблемы здесь связаны с уровнем электромагнитных радиочастотных помех, излучаемых устройством и превышающих пороговое значение, разрешенное для конкретного стандарта, на соответствие которому и осуществляется сертификация. Хотя дополнительное тестирование, требующееся для получения международно признанного сертификата, безусловно, может повлиять на время выхода на рынок и конечную стоимость продукта, преимущество от его последующего использования в международном масштабе и в приложениях IoT стоит затраченных усилий.

При разработке комплекта AE-CLOUD2 компания Renesas заранее позаботилась о получении международно признанных сертификатов. Это сделано для того, чтобы разработчикам не пришлось останавливать проект для выяснения, разрешено ли эксплуатировать их прототип-устройство IoT в определенной стране. Данные сертификаты также позволяют инженерам использовать при необходимости AE-CLOUD2 для производства.

Кроме того, поскольку комплект AE-CLOUD2 поставляется с глобальной сертификацией, встроенная в его структуру сотовая связь может применяться в любой точке мира для оценки решения конечного встраиваемого оборудования или даже в качестве начальной платы прототипа. На рис. 7 приведены сертификационные маркировки для AE-CLOUD2, включая FCC (США), маркировку CE (ЕС), одобрение MIC (Ministry of Internal Affairs and Communications — Министерство внутренних дел и коммуникаций Японии) в системе сертификации радиотехниче-

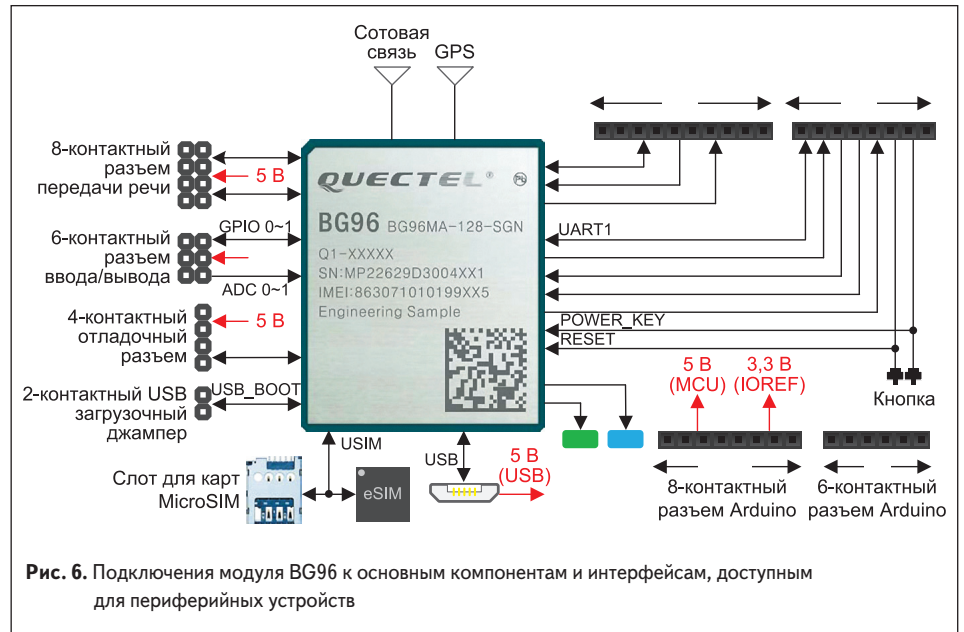


Рис. 6. Подключения модуля BG96 к основным компонентам и интерфейсам, доступным для периферийных устройств

Таблица 3. Список диапазонов сотовой связи и частот, поддерживаемых комплектом AE-CLOUD2

Cat-M1	NB-IoT	GSM/GPRS	GNSS	Чипсет
LTE FDD: B1/ B2/ B3/ B4/ B5/ B8/ B12/ B13/ B18/ B19/ B20/ B26/ B28; LTE TDD: B39 (только для Cat-M1)	LTE FDD: B1/ B2/ B3/ B4/ B5/ B8/ B12/ B13/ B18/ B19/ B20/ B26/ B28	850-1900 МГц; 900/1800 МГц	GPS; GLONASS; BeiDou/Compass; Galileo; QZSS	Qualcomm (MDM9206)

ского и телекоммуникационного оборудования (Япония), соответствие требованиям Директивы об утилизации электрического и электронного оборудования (ЕС) и Директивы RoHS (ЕС).

В таблице 3 приведен список диапазонов сотовой связи и частот, поддерживаемых комплектом AE-CLOUD2.

### Программный пакет Renesas Synergy Software компании Renesas

Комплект AE-CLOUD2 позволяет быстро разрабатывать приложения «Интернета вещей» благодаря возможности использования платформы Renesas Synergy Platform компании Renesas, которая предоставляет инструменты профессионального уровня для создания самых различных IoT-продуктов.

Встроенный код для AE-CLOUD2 выполнен с использованием программного пакета Renesas Synergy Software Package (Synergy Software Package, SSP) из платформы Renesas Synergy Platform, который включает TLS (Transport Layer Security) — протокол защиты транспортного уровня, MQTT (Message Queue Telemetry Transport) — упрощенный сетевой протокол,

действующий поверх TCP/IP, и среду разработки беспроводных приложений Wireless Application Framework. Платформы беспроводных приложений обеспечивают легкую реализацию таких технологий, как Wi-Fi, сотовая и Bluetooth Low Energy. NetX Secure TLS обеспечивает и аутентифицирует связь между устройствами и облаком, а MQTT для NetX Duo (с поддержкой TCP/IP IPv4 и IPv4/IPv6 соответственно) обеспечивает связь для устройств, отправляющих лишь небольшие объемы данных. Эти компоненты предоставляют программный пакет SSP как средство для подключения к любому крупному поставщику облачных услуг, практически не создавая препятствий для начала работы над проектом в целом.

Протокол передачи гипертекста HTTP (HyperText Transfer Protocol) предназначен для передачи контента в Интернете. Это высоконадежный простой протокол, который для выполнения своей функции использует службы протокола управления передачей (TCP). Все операции в Интернете используют протокол HTTP. HTTP-клиент NetX Duo поддерживает как сети IPv4, так и IPv6, в то время как HTTP-клиент NetX поддерживает только IPv4-связь. IPv6 напрямую

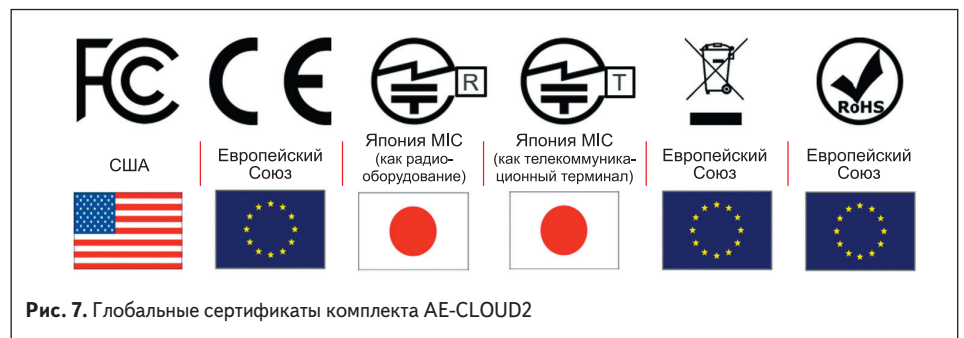
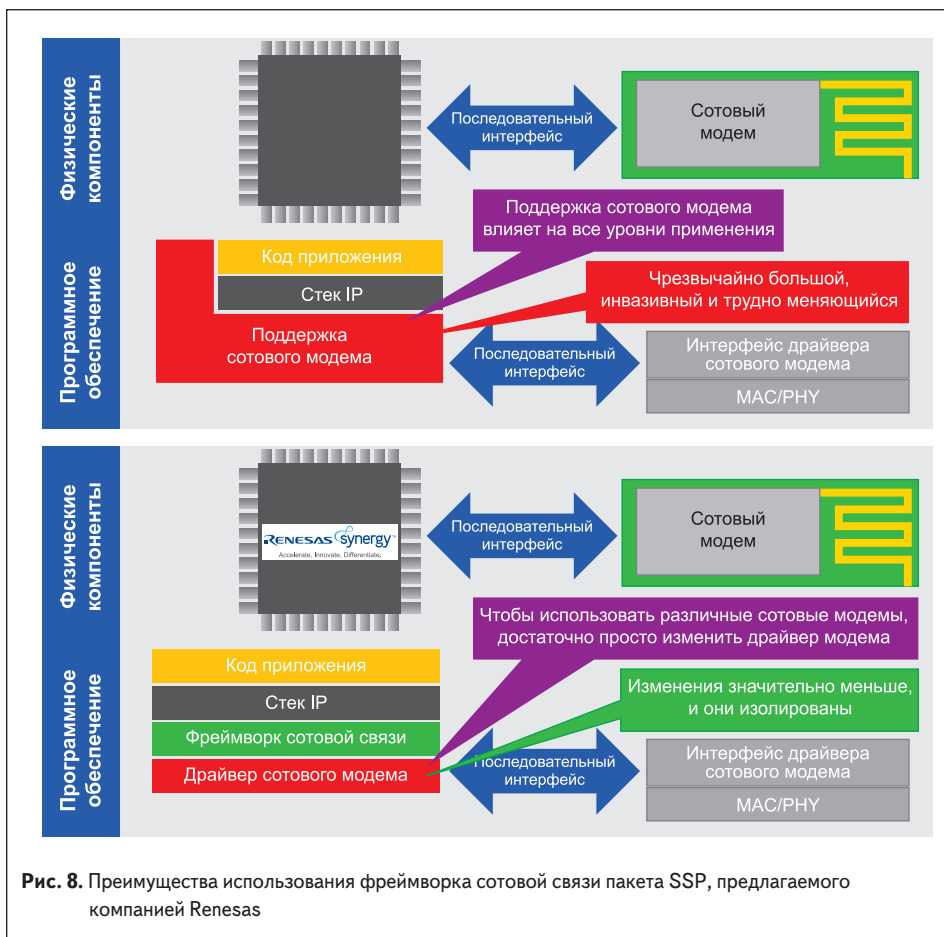


Рис. 7. Глобальные сертификаты комплекта AE-CLOUD2



не влияет на протокол HTTP, однако необходимо учитывать, что для размещения IPv6 следует принимать во внимание его некоторые различия с HTTP-клиентом NetX.

### Фреймворк сотовой связи пакета SSP

Создавая сотовые приложения, разработчики часто сталкиваются с проблемой использования одной модели сотового модема для оценки, а другой модели — в процессе проектирования, которая в конечном счете и понадобится при производстве

приложения. Фреймворк<sup>2</sup> организации канала сотовой связи (Cellular Framework) программного пакета Renesas Synergy Software Package (Synergy Software Package SSP) из платформы Renesas Synergy Platform компании Renesas позволяет разработчику оценивать разные модели модемов с минимальным изменением кода, что немало важно, поскольку таким образом тот же самый код можно применять даже после изменения модели

<sup>2</sup> Фреймворк (от англ. framework — «остов», «каркас», «структура») — программная платформа, определяющая структуру программной системы или программное обеспечение, облегчающее разработку и объединение разных компонентов большого программного проекта. Одно из главных преимуществ при использовании «каркасных» приложений — «стандартность» структуры приложения. — Прим. пер.

модема для производственных целей. Комплект AE-CLOUD2 также использует модуль фреймворка SSP в качестве интерфейса высокого уровня для интеграции сотового модема в платформу приложений SSP и предоставляет наборы API для настройки и связи с сотовой сетью для передачи данных. SSP Cellular Framework с платформой приложений SSP (консольная инфраструктура) предназначен для связи с сотовыми модемами с последовательным интерфейсом COM-порта с помощью внутренних AT-команд. Платформа приложений SSP также создает канал для передачи данных через последовательный интерфейс по протоколу PPP WAN, предоставленному NetX. Любое TCP/IP-соединение может быть установлено по сети WAN с использованием сокетов, протоколов приложений NetX и IoT-протоколов, таких как MQTT или COAP. Cellular Framework предоставляет API сокетов уровня фреймворка для связи через стек TCP/IP, присутствующий на чипе внутри некоторых сотовых аппаратных модулей (под модулем подразумевается разновидность исполнения модемов, обычно — гибридная сборка), таким образом происходит взаимодействие с сетью Интернет посредством API-сокетов. Преимущества фреймворка сотовой связи SSP, предлагаемого компанией Renesas, показаны на рис. 8.

### Заключение

При создании встраиваемых сотовых IoT-приложений инженерам необходимы не только дополнительные инструменты, но и серьезные технические навыки, чтобы решать широкий круг вопросов, начиная от выбора оптимального встроенного решения для организации сотового канала передачи данных, сертификации радиочастотного оборудования и заканчивая программным обеспечением для передачи данных в облако. Набор AE-CLOUD2 предоставляет возможность разработчикам встраиваемых решений быстро и легко оценить эти технологии и проектировать эффективные IoT-продукты будущего. ■