

Модули с поддержкой NB-IoT и eMTC производства Quectel.

Часть 2. Основные технические характеристики модулей

Технологии NB-IoT и eMTC в основном, регламентированы в стандарте 3GPP Rel. 13, окончательная редакция которого вышла в 2016 году. Работы по модернизации отмеченных технологий были продолжены в рамках рабочих групп Rel. 14 и Rel. 15. В первой части статьи, опубликованной в журнале «Беспроводные технологии» № 2, 2018 были рассмотрены основные функциональные требования, предъявляемые стандартами 3GPP к устройствам пользователя NB-IoT и eMTC.

Во второй части статьи рассматриваются LPWA-модули Quectel, предназначенные специально для «Интернета вещей» (IoT). Модули BC95, BC66, BC68 поддерживают технологию NB-IoT (Cat. NB1 LTE). Модули BG96 и BG96 v2 представляют собой универсальные модели, предназначенные для использования в различных странах и регионах в сетях LTE Cat. M1 (eMTC) и Cat. NB-1 (NB-IoT).

Кроме того, модули BG96 оснащаются встроенным навигационным приемником GNSS, поддерживающим работу со всеми спутниковыми системами: GPS, GLONASS, Beidou, Galileo.

Во второй части статьи сохранена сквозная нумерация таблиц, рисунков и ссылок на цитируемую литературу.

Виктор Алексеев, к. ф.-м. н.

Отличительные особенности NB-IoT/eMTC-модулей Quectel

Рассмотренные в статье модули производства Quectel соответствуют одному из основных требований, предъявляемых к устройствам, предназначенным для использования в различных проектах «Интернета вещей» IoT — это минимальная цена при оптимальной функциональности. Модули Quectel уже сегодня успешно используются в таких приложениях, как контроль перемещения грузов, агропромышленные системы, сети сбора метеоданных, системы контроля воды, газа и электричества, пожарные системы, системы контроля доступа, и других аналогичных приложениях.

Модули BC95-G, BC68

Модули BC95-G, BC68 с поддержкой NB-IoT Cat. N1 изготовлены на базе чипа Boudica производства фирмы HiSilicon, которая является дочерним предприятием Huawei. Основные технические характеристики этих модулей приведены в табл. 5.

Различия между модулями семейства BC95-G и модулем BC68 заключаются в конструк-

тиве и расположении контактных выводов. В остальном технические характеристики этих модулей совпадают.

Версия BC95-G, поступившая в коммерческую продажу в конце 2017 года, отличается тем, что может работать в любом из шести диапазонов:

- Band 1, H-FDD 2100 МГц;
- Band 3, H-FDD 1800 МГц;
- Band 8, H-FDD 900 МГц;
- Band 5, H-FDD 850 МГц;
- Band 20, H-FDD 800 МГц;
- Band 28, H-FDD 700 МГц.

Модуль BC68 изготовлен на базе чипа Boudica производства HiSilicon и поддерживает те же частоты, что и модуль BC95-G: B1, B3, B5, B8, B20, B28.

Габаритные размеры BC68: 17,7×5,8×2,0 мм. Вес: 1,1 г. Таким образом, модуль BC68 меньше и легче, чем BC95-G (табл. 2).

Модуль BC95-G имеет 54-контактные площадки SMT с шагом 1,1 мм, на которые выведены все интерфейсные группы:

- Power supply;
- UART interfaces;
- USIM interface;

- ADC interface*;
- Network status indication*;
- RF interface.

* дорабатывается в настоящее время.

Кроме того, на корпусе BC95-G расположены 40 зарезервированных площадок, которые заземлены в текущих моделях. Габаритные размеры: 23,6×19,9×2,2 мм.

Модуль BC68 выполнен в корпусе для поверхностного монтажа SMD-типа, который имеет 44 LCC-вывода и 14 LGA-площадок, на которые выведены те же интерфейсы, что в модели BC95-G.

Модули BC95-G и BC68 обладают чувствительностью (RF Receiving Sensitivity), равной -129 дБм во всех частотных диапазонах: B1, B3, B8, B5, B20, B28. Для сравнения отметим, что чувствительность модулей BG96 составляет -113 дБм.

Скорость передачи данных «вниз» составляет 25 кбит/с. При передаче «наверх», в зависимости от режима, максимальная скорость передачи может достигать 54 кбит/с (табл. 5). Следует обратить внимание на то, что модуль BC95-G устойчив к колебаниям напряжения питания в диапазоне 3,1–4,2 В.

Модуль BC95-G оснащен двумя портами UART. Обмен данными осуществляется с помощью основного порта.

В соответствии со стандартом Rel. 13 на DCE-DTE (Data Terminal Equipment) Main UART имеет следующие коммуникационные линии (уровни 3 В):

- TXD: Send data;
- RXD: Receive data;
- RI: Ring indicator.

Основной порт может использоваться для передачи команд AT и передачи данных. В этом случае скорость передачи составляет 9600 бит/с. Кроме того, с помощью основного UART можно обновлять прошивку со скоростью 115 200 бит. Этот основной порт доступен в активном режиме, режиме ожидания и PSM. Сигнал Ring indicator соответствует случаю получения SMS или передачи данных.

Второй порт UART Debug, предназначенный для отладки ПО, имеет две линии:

- DBG_TXD: Send data to the COM port of DTE;
- DBG_RXD: Receive data from the COM port of DTE.

Этот простой и удобный интерфейс, позволяющий получать информацию через две информационные линии, поддерживает скорость 921 600 бит/с и используется для отладки прошивки с помощью специального программного обеспечения UEMonitor, разработанного Quectel [30].

Это ПО использует файл message.xml, который обычно применяется для декодирования и форматирования отладочных сообщений, поступающих от устройств UE Quectel. Содержание файлов message.xml зависит от типа устройства. Например, если нужно просмотреть журнал модуля BC95-G, то необходимо использовать именно файл message-BC95-G.xml. Работа с UEMonitor намного проще по сравнению с хорошо известной программой Neul UELogViewer. Вместе с тем UEMonitor позволяет в полном объеме работать с отладочными сообщениями NB-IoT модулей Quectel. Главное окно программы показано на рис. 9.

Для того чтобы загрузить файл из QCOM или UELogViewer, достаточно выполнить три простых действия: Click File → New Project → From log file. В другом варианте нужно вы-

Таблица 5. Основные технические характеристики модулей Quectel с поддержкой NB-IoT и eMTC

Чип	HiSilicon Boudica	MTK M2625	Qualcomm MDM9206-0, 9206-2, MDM9205
Стандарты	BC95: Cat. NB1; BC95-G & BC68: Cat. NB1	Cat. NB1	Cat. M1/Cat. NB1, EGPRS, GSM850/GSM900, DCS1800/PCS1900
Частоты LTE-FDD	BC95-B5: B5, B8, B20, B28; BC95-G & BC68: B1/B3/B5/B8/B20/B28	B1/B2/B3/B5/B8/B12/B13/B17/B18/B19/B20/B25/B26/B28/B66	CAT. M1: B1/B2/B3/B4/B5/B8/B12/B13/B18/B19/B20/B26/B28; B39 @LTE-TDD (только для Cat. M1)
Напряжение питания	BC95: 3,1–4,2В	2,1–3,7 В	3,3–4,3 В
Управление	AT-команды 3GPP Rel. 13 и Quectel Enhanced AT		
Скорость передачи данных	Single Tone: DL: 24 кбит/с; UL: 15,625 кбит/с; Multi Tone: DL: 24 кбит/с; UL: 62,5 кбит/с	Single Tone: DL: 25,5 кбит/с; UL: 16,7 кбит/с; Multi Tone: DL: 25,5 кбит/с; UL: 62,5 кбит/с	LTE Cat. M1: Max. 375 кбит/с (DL), Max. 375 кбит/с (UL); LTE Cat. NB1: Max. 32 кбит/с (DL), Max. 70 кбит/с (UL); GPRS: Max. 85,6 кбит/с (DL), Max. 85,6 кбит/с (UL); EGPRS: Max. 236,8 кбит/с (DL), Max. 236,8 кбит/с (UL)
Протоколы Интернет	PPP/TCP/UDP/SSL/FTP/HTTP		
	CoAP/LWM2M/DTLS/MQTT		TLS/PAP/CHAP
	Non-IP/IPv4/IPv6	SNTP	
Токи потребления	5 мкА @PSM; 6 мА @ Idle Mode; 230 мА @ TX Power	3,5 мкА @ PSM; 0,29 мА @ Idle Mode (eDRX = 81,92 с); 0,43 мА @ Idle Mode (DRX = 2,56 с); 110 мА @ LTE Cat. NB1, 23 дБм	LTE Cat. M1: 10,4 мкА @ PSM; LTE Cat. NB1: 9,8 мкА @ PSM; 10 мкА (типичное) @ PSM; 1,7 мА (типичное) @ Sleep State, DRX = 1,28 с; 1,1 мА (типичное) @ Sleep State, e-I-DRX = 20,48 с; 1,9 мА (типичное) @ Standby State, DRX = 1,28 с; 1,3 мА (типичное) @ Standby State, e-I-DRX = 20,48 с, UART отключен, USB отключен; 15 мА (типичное) @ Standby State, e-I-DRX = 20,48 с, UART подключен, USB отключен; 16 мА (типичное) @ Standby State, DRX = 1,28 с; 190 мА (типичное), 447 мА (максимальное) @ Active State, 23 дБм; 130 мА (типичное) @ Active State, 10 дБм; 124 мА (типичное) @ Active State, 0 дБм; 92 мА (типичное) @ Data Transfer; 108 мА (типичное) @ Voice, Real Network
Выходная мощность	Class 3 (23 дБм ±2 дБ) для LTE-FDD bands		Class 3 (23 дБм ±2 дБ) для LTE-FDD и LTE-TDD; Class 4 (33 дБм ±2 дБ) для GSM850/900; Class 1 (30 дБм ±2 дБ) для DCS1800/1900; Class E2 (27 дБм ±3 дБ) для GSM850/900/1800, 8-PSK; Class E2 (26 дБм ±3 дБ) для DCS1800/1900 8-PSK
Чувствительность	Cat. NB1: -129 (в среднем)		Cat. M1: -107 дБм (в среднем); Cat. NB1: -113 (в среднем); B39 TBD – нет
GNSS	Нет		Опционно: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, QZSS
Интерфейсы	Power Supply, USIM (1.8/3.0V), UART, ADC, RESET, Antenna Interface, Network status indication (нет BC95)		
	Ring Indicator behaviors (BC68)	PWRKEY, SPI, PSM, EINT, I ² C, I ² S (для версии OpenCPU)	PCM audio, USB 2.0
SMS	Point-to-point MO, MT, Text/PDU Mode		
Голос	Нет		VoLTE по сети LTE Cat M1, Realtek ALC 5616
Замена ПО	DFOTA		
Температура	-40...+85 °С. На границах могут наблюдаться отклонения параметров, например (Pout)		
Сертификаты	CE*/GCF* (Europe), FCC* (North America), CCC*/NAL*/SRRC* (China)		
Размеры	BC95/BC95-G: 19,9×23,6×2,2 мм; BC68: 17,7×15,8×2,3 мм	17,7×15,8×2,3 мм	22,5×26,5×2,3 мм
Вес	BC95: 1,8 г; BC68: 1,1 г	1,2 г	3,1 г
Корпус	LCC-94	LCC	102-pin LGA

брать отладочный порт и правильный декодер. Подробно работа с этим ПО описана в документе BC95-G&BC68 UEMonitor User Guide.

Модуль BC9-G, так же, как и другие модули NB-IoT, имеет интерфейс USIM, соответствующий спецификации 3GPP, который позволяет получать доступ к внешней USIM-карте. Интерфейс карты USIM поддерживает стандарты USIM-1.8V и USIM-3.0V.

Модуль BC95-G оснащен 10-разрядным АЦП, который предназначен для считывания показаний различных датчиков с выходным аналоговым сигналом. Этот интерфейс доступен как в активном режиме, так и в режиме ожидания.

Для внешнего перезапуска модуля имеется специальный вывод (pin 15), на который подается отрицательный импульс длительностью 100 мс. Аналогичным образом можно удаленно подавать и снимать внешнее питание модуля. Кроме того, имеется возможность перезагрузить модуль с помощью AT-команды: AT+NRB.

Специальный вывод NETLIGHT предназначен для светодиодной сигнализации состояния модуля. Светодиод загорается при регистрации модуля в сети.

Модули BC95-G выполнены в стандартном конструктиве LCC, позволяющем переходить от существующих стандартных GSM/GPRS-модулей M95 к мобильным устройствам с поддержкой NB-IoT. Функциональное назначение, уровни сигналов и расположение основных контактных площадок на корпусах модулей M95 и BC95-G совпадают. Для отладки модулей рекомендуется использовать комплект GSM/NB-IoT EVB Kit.

Модули BC68 совместимы «pin-to-pin» с GSM/GPRS-модулями M66 благодаря совпадению

контактных площадок по расположению, назначению и уровням сигналов. Модули могут легко быть взаимозаменяемыми, что облегчает переход от 2G-модуля M66 к NB-IoT BC68.

Можно отметить еще одну отличительную особенность этих модулей. В модулях Quectel BC95-G, BC68 функция RAI (Release Assistance Indication) реализована несколько иначе, чем в других модулях NB-IoT Quectel.

Работа с RAI в модулях BC95-G, BC68 включает несколько этапов. Первоначально с помощью команды AT+NSOSTF на удаленный сервер пересылается сообщение UDP с флагом (UDP messages with flags). После чего обрабатывается команда AT+QLWULDATAEX, которая используется для отправки на облачную платформу IoT Хуавэй (Huawei's IoT platform) подтвержденных (CON) или неподтвержденных (NON) сообщений с использованием протокола LWM2M и идентификатора RAI.

При этом уведомление об отправке CON в автоматическом режиме пересылается на терминал. Терминал может запросить статус отправленных данных CON с помощью команды AT+QLWULDATASTATUS. В случае если модулю не удалось зарегистрироваться в сети NB-IoT platform, эта команда инициирует новую регистрацию модуля. Более подробно эта процедура описана в документе BC95&BC95-G&BC68 RAI Application Note.

BC66 — миниатюрный NB-IoT-модуль с минимальным потреблением

Модуль BC66 (функциональная диаграмма которого представлена на рис. 10а) разработан

на базе чипа M2625 производства MediaTek Inc, предназначенного специально для стандарта NB-IoT. Этот чип обеспечивает низкое энергопотребление и экономичное решение для широкого спектра сетевых устройств, работающих в диапазоне 450 МГц...2,1 ГГц. Чип MT2625 содержит на одном кристалле: цифровой сигнальный процессор стандарта NB-IoT, радиочастотный блок обработки аналогового сигнала, микроконтроллер ARM Cortex-M, псевдостатическое ОЗУ с произвольным доступом (PSRAM), флэш-память и блок управления питанием. Следует отметить, что MT2625 удовлетворяет требованиям спецификации 3GPP R14.

Благодаря использованию чипа с высокой степенью интеграции компонентов, в модуле BC66 удалось получить минимальное энергопотребление — 3,5 мкА в режиме PSM и 0,29 мА в режиме Idle Mode eDRX. Этот чип имеет самые маленькие размеры и вес в серии NB-IoT: 17,7×15,8×2,3 мм; 1,2 г.

Модуль BC66 поддерживает пятнадцать частотных диапазонов: B1/ B2/ B3/ B5/ B8/ B12/ B13/ B17/ B18/ B19/ B20/ B25/ B26/ B28/ B66.

Скорость передачи модуля BC66 немного выше, чем у BC95-G и BC68: DL — 25,5 кбит/с; UL — 62,5 кбит/с (Multi Tone).

Важное значение имеет тот факт, что модули BC66 работают на устройствах, передвигающихся с высокими скоростями: до 120 км/час. Это свойство, подробно описанное в Rel. 14, позволяет использовать модуль BC66 на транспортных средствах и в высокоскоростных автоматизированных промышленных линиях.

Модуль BC66 поддерживает наибольшее число интернет-протоколов из всей линейки

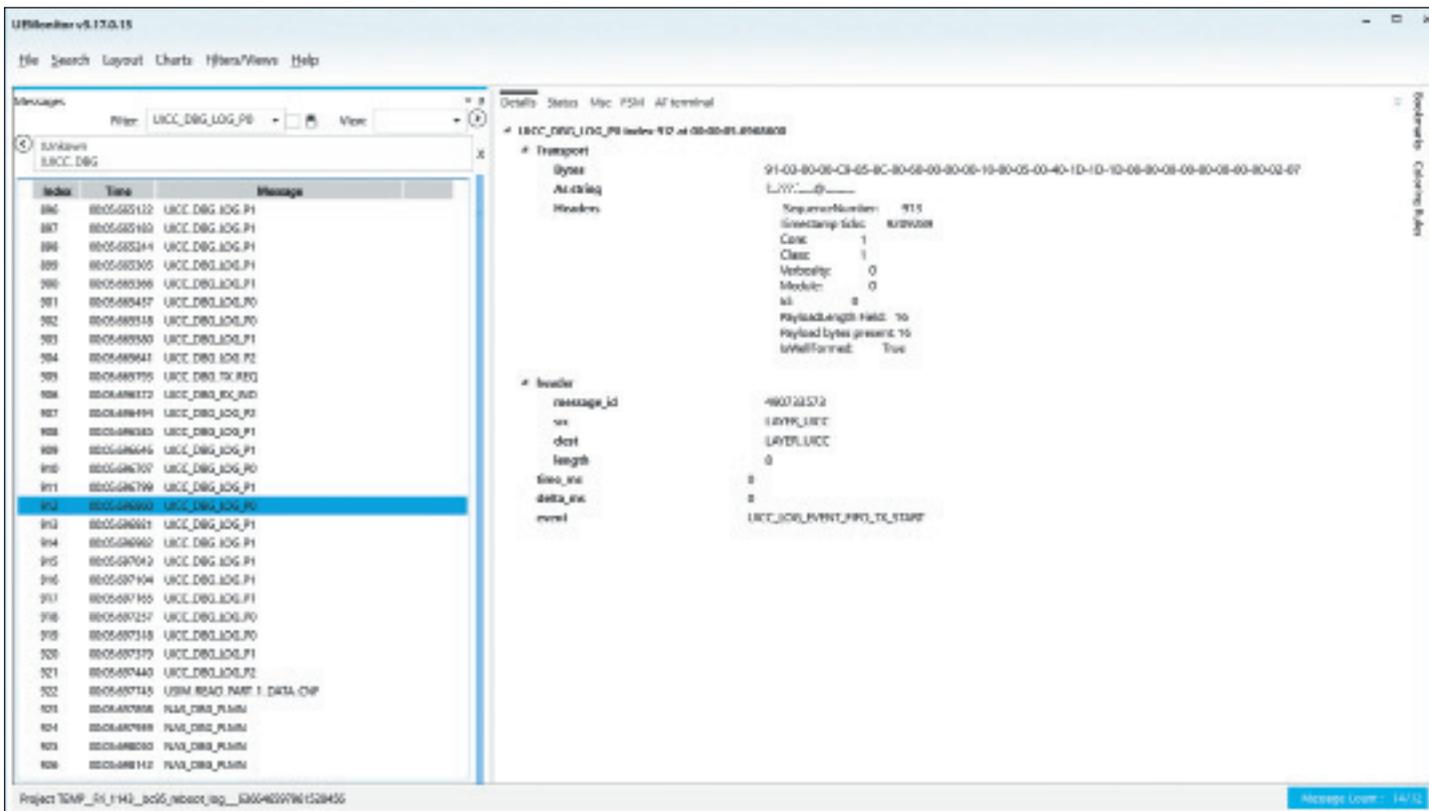


Рис. 9. Главное окно программы UEMonitor Quectel

модулей NB-IoT, производимой в настоящее время фирмой Quectel: UDP/ TCP/ CoAP/ LWM2M/ MQTT/ DTLS/ SNTP/HTTP(S)/ SSL/ PPP/ FTP. В полном объеме эти протоколы поддерживаются в последней версии модуля BC66NB-04-STD.

Основные функции различных моделей серии BC66 показаны на рис. 10б.

Следует обратить внимание на диапазон напряжений питания: 2,1–3,7 В. Расширенный диапазон позволяет подключить модуль непосредственно к литий-ионным типам батарей, исключить из схемы LDO или DC/DC и увеличить срок автономной работы устройства без замены источника питания.

В модуле BC66 поддерживаются следующие интерфейсы:

- USIM;
- 3×UART (Main_UART, AUX_UART, DBG_UART);
- SPI;
- PSM_EINT; ADC (10 bits);
- RESET;
- PWRKEY;
- NETLIGHT;
- Antenna Pad;
- I²C 1 (используется для OpenCPU);
- I²S 1(используется для OpenCPU);
- GPIO Configurable (используется для OpenCPU);
- Network Status Indication.

Интерфейс PSM_EINT предназначен для вывода модуля BC66 из режимов энергосбережения через внешнее прерывание.

Модуль BC66 имеет три порта UART. Главный интерфейс Main UART используется для работы с AT-командами и передачи данных. Он также может быть задействован для обновления программного обеспечения. Максимальная скорость передачи для Main UART составляет 115 200 бит/с.

Порт Main UART имеет две линии:

- TXD: Send data to RXD of DTE;
- RXD: Receive data from TXD of DTE.

Второй Debug UART Port, предназначенный для отладки программного обеспечения, поддерживает два сигнала:

- TXD_DBG: Send data to RXD of DTE;
- RXD_DBG: Receive data from TXD of DT.

Дополнительный порт Auxiliary UART Port может быть задействован в некоторых ситуациях для дублирования работы главного порта с AT-командами и передачей специальных сообщений:

- TXD_AUX: Send data to the RXD of DTE;
- RXD_AUX: Receive data from the TXD of DTE.

Все сигнальные линии последовательных портов выведены на отдельные контактные площадки. Кроме того, на контактную площадку pin 20 выведен сигнал Ringing Signal — RI, соответствующий передаче SMS или URC.

Модуль BC66 оснащен интерфейсом SPI, поддерживающим режим Master. Этот интерфейс имеет четыре сигнальные линии с уровнями напряжения 1,8 В:

- SPI_MISO — вход Master и выход slave интерфейса SPI;
- SPI_MOSI — выход Master и вход slave интерфейса SPI;

- SPI_SCLK — тактовый сигнал интерфейса SPI;
 - SPI_CS — выбор чипа интерфейса SPI.
- Функция PWRKEY позволяет удаленно включать и выключать модуль с помощью импульса отрицательной полярности длительностью 500 мс.

Модуль BC66 поддерживает программное обеспечение OpenCPU, которое позволяет встраивать в базовую прошивку модуля приложения пользователя и новые расширенные AT-команды. В последней версии модуля BC66 разработчикам предоставляется возможность работы с интерфейсами прикладного программирования OpenCPU APIs. Прикладные программы пользователя могут быть написаны на языках высокого уровня с использованием модуля API OpenCPU. Интерфейсы I²C, I²S, SPI, а также GPIO доступны только из приложения пользователя OpenCPU.

Параметры остальных интерфейсов одинаковы во всех модулях Quectel NB-IoT.

Модуль BC66 также поддерживает NITZ — Network Identity and Time Zone. Эта функция

позволяет получать по беспроводной сети значения локального времени, даты, часового пояса, а также информацию об идентификаторе сетевого провайдера.

Модули BC66 могут работать в среде Huawei OceanConnect, разработанной для приложений IoT. Эта открытая экосистема предоставляет разработчикам возможность создавать прикладные программы с использованием различных API.

Для передачи общей NAS (Non Access Stratum) информации, относящейся ко всем устройствам UE, а также специальной (dedicated NAS) информации, которая предназначена только определенным UE, используется протокол Radio Resource Control — RRC. Для устройств UE, которые находятся в состоянии RRC_IDLE (Idle mode), передается нотификация о входящих звонках. Модули Quectel NB-IoT поддерживают функцию индикации Release Assistance Indication — RAI. При передаче по восходящей линии связи в пакет сигнальной информации инкапсулируется сообщение RAI.

Это поле RAI позволяет устройству UE уведомлять управляющий сервер о том,

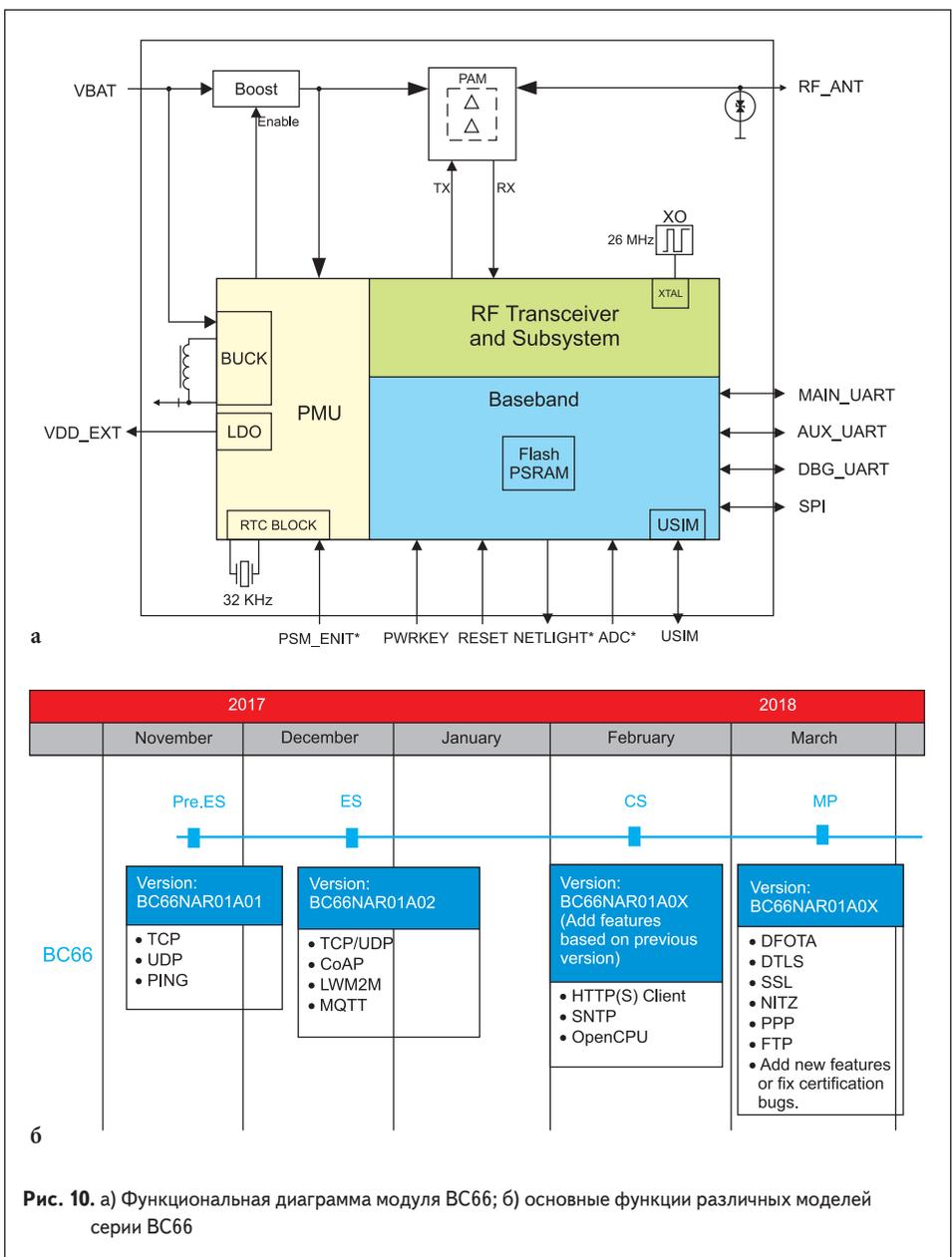


Рис. 10. а) Функциональная диаграмма модуля BC66; б) основные функции различных моделей серии BC66

ожидаются дальнейшие передачи данных по восходящей или нисходящей линии связи или не ожидаются.

Получив такое сообщение, опорная сеть, в соответствии с информацией RAI, может разорвать RRC-соединение для того, чтобы позволить модулю войти в режим ожидания (Idle mode).

Таким образом, функция RAI позволяет сократить период времени, в течение которого устройство UE находится в режиме DRX, ожидая возможных дополнительных передач.

В модулях BC66 функция Release Assistance Indication — RAI реализуется с помощью команды +QNBIOTRAJ, которая позволяет перевести модуль в одно из следующих состояний:

- Функция RAI отключена/включена.
- Модуль может передать только один пакет «вверх» и не ожидает приема пакетов «вниз».
- Модуль может передать только один пакет «вверх» и ожидает прием одного пакета «вниз».

Подробно работа с RAI описана в документе BC66 AT Commands Manual.

На корпусе BC66 расположены 44 LCC-контакта и 14 LGA-контактов.

Модуль BC66 совместим по контактным площадкам с GSM/GPRS-модулем M66 (рис. 11).

Для отладки и тестирования модуля можно использовать набор BC66-TE-B.

BC66-TE-B (рис. 12) — это плата разработки NB-IoT-решений, выполненная в виде

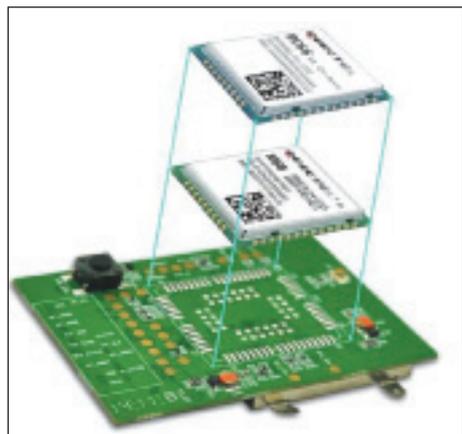


Рис. 11. Модуль BC66 совместим по контактным площадкам с GSM/GPRS-модулем M66



Рис. 12. Внешний вид отладочной платы BC66-TE-B

платы расширения для Arduino, в размере 70,0×74,0×1,6 мм. BC66-TE-B может использоваться как самостоятельно под управлением КП или с использованием OpenCPU, чтобы разрабатывать и отлаживать приложения, так и совместно с STM32 Nucleo-64.

Модули BC68 совместимы «pin-to-pin» с GSM/GPRS модулями M66, а также с NB-IoT-модулями BC66 благодаря совпадению контактных площадок по расположению.

Семейство модулей BG96

В состав серии входят модули BG96, BG96-M.

Модули BG96 представляют собой универсальные модели с поддержкой LTE Cat. M1, LTE Cat. NB1, GSM, GPRS, предназначенные для использования в различных странах в пятнадцати частотных диапазонах LTE. В этих модулях используется чип Qualcomm MDM9206, разработанный на базе ЦПУ ARM Cortex-A7 с тактовой частотой 1,3 ГГц. Кроме поддержки стандартов LTE Cat. M1 (eMTC) и Cat. NB1 (NB-IoT), модуль BG96 может работать и в сетях E-GPRS. В сетях LTE возможна работа как в режиме HD-FDD, так и в TDD-режиме. Максимальные скорости передачи данных для режимов DL и UL составляют соответственно 300 кбит/с и 375 кбит/с.

Модули BG96, вобравшие в себя все преимущества чипа MDM9206, являются наиболее универсальными в линейке модулей Quectel с поддержкой NB-IoT/eMTC. Они могут работать как в сетях Cat. M1 (LTE FDD и B39 LTE TDD), так и в тринадцати частотных диапазонах в режиме Cat. N1 (B1/ B2/ B3/ B4/ B5/ B8/ B12/ B13/ B18/ B19/ B20/ B26/ B2). Кроме того, модули BG96 могут работать в режиме GSM, GCS, EGPRS.

Основные характерные особенности, отличающие BG96 от других LPWA-модулей Quectel:

- Поддержка eMTC, Cat. M1.
- Встроенный приемник ГНСС.
- Работа в режиме EGPRS.
- Интерфейс PCM audio.
- Интерфейс USB 2.0.
- Интерфейс I²C (BG96-V2).
- Интерфейсы UART0, UART1, UART2.
- Голосовая связь (VoLTE) в устройствах Cat. M.
- Поддержка кодека Realtek ALC 5616.
- Работа с протоколами TLS/PAP/CHAP.

Кроме NB-IoT, только модули BG96 поддерживают стандарт eMTC Cat. M1 в следующих частотных диапазонах: LTE FDD B1, B2, B3, B4, B5, B8, B12, B13, B18, B19, B20, B26, B28 и LTE-TDD B39. Полоса пропускания Cat. M1 BG96 1,4 МГц.

В отличие от других моделей BG96 может работать в режиме E-GPRS и GPRS на частотах 850/900/1800/1900 МГц.

Модуль BG96 может передавать и принимать данные со следующими скоростями:

- LTE Cat. M1: Max. 300 кбит/с (DL), Max. 375 кбит/с (UL) (Half Duplexer);
- LTE Cat. NB1: Max. 32 кбит/с (DL), Max. 70 кбит/с (UL);
- EGPRS: Max. 296 кбит/с (DL), Max. 236,8 кбит/с (UL);

- GPRS: Max. 107 кбит/с (DL), Max. 85,6 кбит/с (UL).

Общие сведения о стандарте eMTC приведены в первой части статьи. Поэтому здесь эта информация повторно не приводится. Достаточно отметить, что технические характеристики модуля BG96 полностью удовлетворяют требованиям Rel. 13 в плане LTE Cat. M1.

Выбор необходимого режима работы модуля реализуется с помощью многопараметрической, специальной AT-команды: AT+QCFC = «nwsanseq» [,<scanseq>[,effect].

Параметр <scanseq> определяет режим работы модуля:

- 00 Automatic (LTE Cat. M1 → LTE Cat. NB1 → GSM);
- 01 GSM;
- 02 LTE Cat. M1;
- 03 LTE Cat. NB1.

Параметр <catm1bandval> команды AT+QCFC определяет выбор частотного диапазона LTE Cat. M1. Например, значение этого параметра, равное 0x40000000, будет означать выбор всех диапазонов: 0x15=0x01 (LTE B1)+0x04 (LTE B3)+0x10 (LTE B5) и т. д.

Модуль BG96 серийно выпускается с конца 2107 года. Кроме модели BG96, разрабатываются и другие версии этого модуля.

Модуль BG96-M разрабатывается, ожидаемое время выхода модуля — конец 2018 года. Модуль BG96-M поддерживает только eMTC Cat. M1. Он разработан на базе чипа MDM9206.

Модуль BG95 будет выпускаться с новым чипом Qualcomm MDM9205. Будет поддерживать Cat. M1/ NB2/ EGPRS.

Модуль BG95-M будет выпускаться с новым чипом Qualcomm MDM9205, будет поддерживать Cat. M1.

Модуль BG95-N будет выпускаться с новым чипом Qualcomm MDM9205, будет поддерживать только NB2.

Модуль BG99 будет выпускаться с новым чипом Qualcomm MDM9205, будет поддерживать Cat. M1/ NB2/ EGPRS. Также это самый миниатюрный модуль с поддержкой технологий Cat. M1/ NB2/ EGPRS.

Ожидаемый план поступления новых моделей BG96 в коммерческую продажу показан на рис. 13.

Модуль BG96 имеет интерфейс USB, соответствующий стандарту USB 2.0 и поддерживающий передачу данных со скоростями до 480 Мбит/с (только в режиме slave). Этот интерфейс может работать с драйверами: USB drivers for Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8/8.1, Windows 10, Windows CE 5.0/6.0/7.0, Linux 2.6/3.x/4.1, Android 4.x/ 5.x/ 6.x/ 7.x.

В модуле BG96 имеются три последовательных порта.

Главный интерфейс UART1, поддерживающий RTS и аппаратный CTS контроль потока, используется для передачи данных со скоростями вплоть до 921 600 бит/с, по умолчанию выставлено 115 200 бит/с. UART1 можно использовать для работы с AT-командами. По умолчанию установлен формат передачи 8N1 (8 data bits, no parity, 1 stop bit). Интерфейс UART2 предназначен для отладочных целей. Скорость передачи 115 200 бит/с. Интерфейс UART3 используется для коммуникации с GNSS-приемником

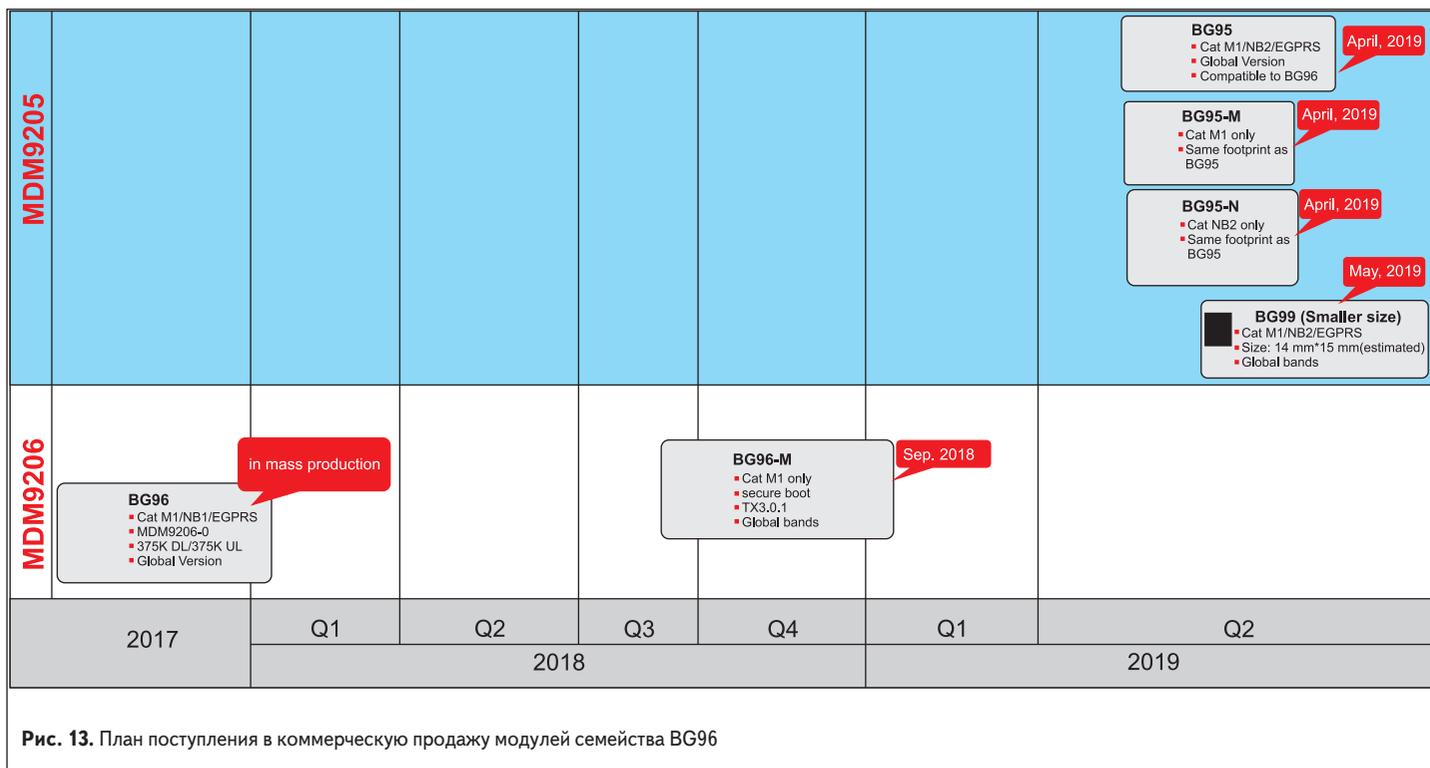


Рис. 13. План поступления в коммерческую продажу модулей семейства BG96

и навигационных сообщений NMEA. Скорость по умолчанию 115 200 бит/с.

Опционно BG96 выпускаются со встроенным приемником GNSS, который поддерживает все основные системы спутниковой навигации: GPS, GLONASS, Beidou, Galileo. ГНСС-приемник поддерживает навигационную систему идентификации данных спутников Gen8C-Lite of Qualcomm (GPS, GLONASS, BeiDou/Compass, Galileo, QZSS). Приемник GNSS работает со стандартными NMEA-0183 протоколами и сообщениями как через интерфейс USB, так и UART3 с интервалом обновлений 1 Гц. По умолчанию GNSS-приемник выключен. Включение и управление навигационным приемником осуществляется с помощью специальных AT-команд. На корпусе модуля имеется отдельный вывод для подключения GNSS-антенны. Модуль оснащен встроенным малошумящим усилителем, что позволяет подключать модуль к пассивной антенне.

Основные технические характеристики GNSS-приемника модуля BG96 приведены в табл. 6.

В модуле BG96 поддерживается 2-проводной интерфейс I²C:

- I²C_SCL — тактовая частота (необходим внешний подтягивающий резистор к 1,8 В);

- I²C_SDA — данные (необходим внешний подтягивающий резистор к 1,8 В).

Данный интерфейс предназначен для управления аудиокодеками, а также может быть использован для связи с другими устройствами.

Модуль BG96 оснащен современным аудиоцифровым интерфейсом с поддержкой импульсно-кодовой модуляции (Pulse Code Modulation Interface — PCM).

Цифровой PCM-интерфейс модуля имеет сигнальные линии:

- PCM_CLK — тактовая частота (1,8 В);
- PCM_SYNC — синхронизация фрейма (1,8 В);
- PCM_IN — вход данных (1,8 В);
- PCM_OUT — выход данных (1,8 В).

Цифровой аудиоинтерфейс модуля BG96 позволяет использовать его для связи с другими устройствами с поддержкой PCM в таких приложениях, как например: голосовая связь в сетях GSM, LTE (VoLTE — Voice over LTE), цифровые беспроводные аудиосистемы,

охранная сигнализация, беспроводные системы аварийного оповещения и т. д.

Модуль BG96 имеет расширенный набор сетевых протоколов, среди которых следует отметить PAP (Password Authentication Protocol) и CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol), которые обычно используются для PPP-соединения.

Модуль BG96 изготовлен в конструктиве LGA. На корпусе модуля расположены 102 контактные площадки.

Внешний вид модуля BG96 показан на рис. 14.

Для разработки можно использовать Complete Initial Evaluation Kit for BG96-GG LTE/M1 Module.

Следует обратить внимание еще на одну полезную опцию, поддерживаемую модулями BG96, — QuesOpen. Функция QuesOpen позволяет использовать модуль в качестве центрального процессора. В модуле BG96 для пользователей доступна работа с процессором ARM A7 и флэш-памятью 3 Мбайт. Кроме того, для пользователя доступна дополнительная память 3 Мбайт RAM. Специально для работы с приложением QuesOpen разработан отладочный

Таблица 6. Технические характеристики GNSS-приемника модуля BG96

Параметр	Описание	Режим	Значение
Чувствительность, дБм	Холодный старт	Автономный	-146
	Повторный захват	Автономный	-157
	Слежение	Автономный	-157
Время до первого местоопределения, с (открытое небо)	Холодный старт		31
	Холодный старт	Qualcomm's gps OneXTRA Assistance technology	Тестовые испытания
	Теплый старт	Автономный	21
	Горячий старт	Автономный	2,7
Погрешность определения плановых координат, м	CEP 50	Автономный	2,5



Рис. 14. Внешний вид модуля BG96

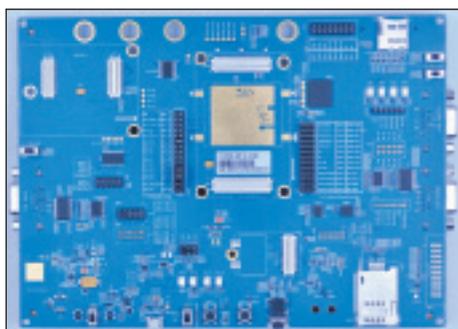


Рис. 15. Отладочный комплект LTE OPEN EVB для работы с приложением QuesOpen

комплект LTE OPEN EVB, который представляет собой законченное устройство в виде платы с питаемым на нее модулем BG96 (рис. 15). Этот отладочный комплект имеет все описанные выше интерфейсы модуля BG96, которые выведены на стандартные разъемы [25].

Использование QuesOpen позволяет сократить время и затраты на разработку, оптимизировать схему конечного устройства и уменьшить его стоимость, а также повысить уровень защиты от несанкционированного доступа к сети. На сайте [26] можно скачать архивированную версию ПО.

Для разработки изделий на базе BG96 можно также использовать отладочный комплект Complete Initial Evaluation Kit for BG96-GG LTE/M1 Module. Проверить работоспособность конечного изделия, разработанного на базе модулей Quectel, можно с помощью тестового сервера [27], доступ к которому предоставляется бесплатно всем зарегистрированным клиентам. На сайте [28] можно посмотреть видео о практическом использовании BG96 в комплекте с отладочной платой.

Как уже отмечалось выше, модуль BG96 совместим по выводам (полностью или большей

частью) с BC95, M95 R2.0, EG91, EG95, UG96, UG95. Подробное описание процесса замены этих модулей на BG96 приведено в документах EG9x&BG96&UG96&UG95 Compatible Design и BG96&BC95&M95 R2.0 Compatible Design, которые доступны у региональных дистрибьюторов QUECTEL. Более подробную информацию о модулях BG96 можно найти на сайте производителя.

Следует обратить внимание на такую важную, характерную для всех NB-IoT-модулей Quectel особенность, как удаленное обновление программного обеспечения устройств пользователей UE — FOTA.

Аббревиатура FOTA расшифровывается как Firmware Over-The-Air. Новое ПО может заливаться на устройство по беспроводному каналу связи, что исключает необходимость физической перепрошивки.

Программное обеспечение Quectel DFOTA (Delta Firmware Upgrade Over-The-Air) позволяет по радиоканалу обновить прошивку до новой версии или вернуться к старой версии. Для реализации операции DFOTA необходимо подготовить пакет прошивки, который содержит только различия между старыми и новыми версиями ПО. Такой подход значительно уменьшает количество передаваемых данных и ускоряет скорость обновления прошивки.

Простой протокол, необходимый для обновления прошивки, достаточно просто интегрировать в пользовательское программное обеспечение. Внешний микропроцессор полностью контролирует процесс загрузки ПО, включая такие параметры, как скорость загрузки, место для хранения прошивки и кодирование пакетов. Важным является то, что загружается и устанавливается новое ПО в фоновом режиме, в то время как устройство продолжает нормально функционировать.

Процесс DFOTA включает три этапа:

- Получение дельта-файла от Quectel.
- Размещение дельта-файла на HTTP(S) сервере пользователя.

- Запуск процесса обновления с помощью специальной команды Quectel AT +QFOTADL.

По команде +QFOTADL устройство начинает передачу пакета обновления, и далее модуль самостоятельно завершает процесс проверки и запуска нового ПО. На сайте Quectel можно найти подробную документацию с описанием процесса обновления ПО для каждого модуля, например BG96 DFOTA User Guide.

Для модулей с поддержкой NB-IoT/eMTC производства Quectel можно отметить следующие общие черты:

- Спящий режим PSM с током потребления в единицы микроампер.
- Режим ожидания (Idle/Standby Mode) с током потребления в единицы миллиампер.
- Поддержка AT-команд AT 3GPP Rel. 13 и Quectel Enhanced AT.
- Небольшие скорости передачи данных.
- Узкая полоса пропускания (180 кГц минимум для NB-IoT).
- Возможность работы только в экономичном полудуплексном режиме (HD-FDD).
- Интерфейсы USIMx1 1.8V/3.0V, UART, ADC.
- Совместимость («pin-to-pin») с другими модулями Quectel.
- Небольшие габаритные размеры.
- Международные сертификаты (CE/GCF Europe, FCC North America, CCC/ NAL/ SRRC China).
- Расширенный диапазон рабочих температур $-40...+85$ °C.
- Удаленное обновление ПО (FOTA).
- Конкурентные цены.

Название моделей с поддержкой NB-IoT и eMTC, а также частотные диапазоны, для которых они предназначены, приведены в табл. 7. Для диапазонов частот LTE использованы следующие стандартные международные обозначения: B1 — 2100 МГц, B2 — 1900 МГц, B3 — 1800 МГц, B8 — 900 МГц, B5 — 850 МГц, B12/ B13/ B17 — 700 МГц, B18/ B19 — 850 МГц, B20 — 800 МГц, B25 — 1800 МГц, B26 — 850 МГц, B28 — 700 МГц, B66 — 1700 МГц. Как видно из табл. 7, модули Quectel могут быть использованы практически во всех странах мира.

С точки зрения внедрения новых модулей в существующие у пользователей устройства, очень важным является общий конструктив для отдельных групп модулей, который позволяет переходить от существующих стандартных GSM/GPRS/LTE модулей к мобильным устройствам с поддержкой NB-IoT/eMTC. Функциональное назначение, уровни сигналов и расположение основных контактных площадок на корпусах модулей разного типа совпадают.

Конструктив 102-pin LGA дает возможность взаимной замены для следующих модулей (рис. 16):

- [4G] — BG96 LTE Cat. M1 & NB-IoT;
- [4G] — UG96 UMTS/HSPA;
- [2G] — M95 GSM/GPRS.

То есть эти модули BG96, UG95 и M95 совместимы «pin-to-pin», поскольку их основные контактные площадки совпадают по расположению, назначению, логике и уровням сигналов. Таким образом, существующую печатную плату для изделия на базе GSM/GPRS-модуля M95 в принципе можно использовать в ка-

Таблица 7. Диапазоны частот модулей Quectel с поддержкой NB-IoT и eMTC

BG96	B1, B2, B3, B4, B5, B8, B12, B13, B18, B19, B20, B26, B28, B39 Cat. M1 LTE-TDD
BC95-G	B1, B3, B8, B5, B20, B28
BC68	B1, B3, B8, B5, B20, B28
BC66	B1, B2, B3, B5, B8, B12, B13, B17, B18, B19, B20, B25, B26, B28, B66

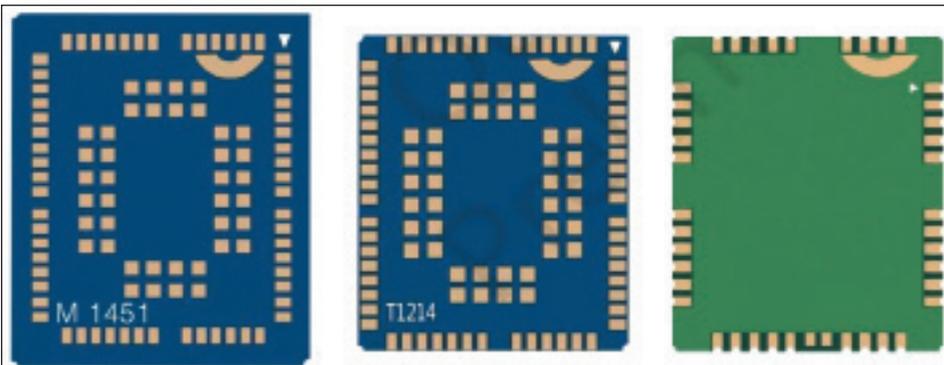


Рис. 16. Конструктив 102-pin LGA дает возможность взаимной замены для модулей: BG96, UG96, M95

честве прототипа платы для изделия на базе NB-IoT-модулей BG96. Такая конструкция модулей позволяет с минимальными затратами осуществлять адаптацию интеллектуальных датчиков предыдущего поколения к новым сетям IoT. С небольшими доработками модули BC95, EG91, UG96 можно также заменять на модули BG96. Детальную информацию по этому вопросу можно найти в технических описаниях на эти модули.

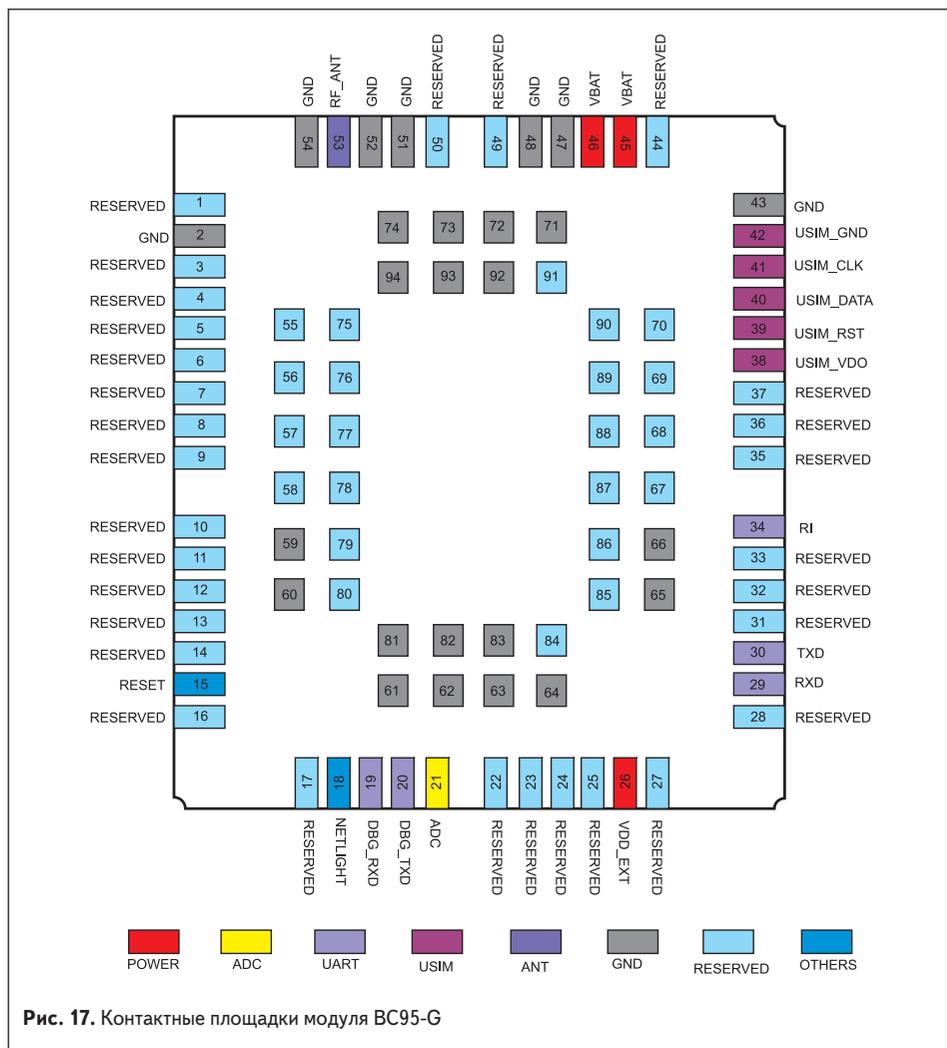
Аналогичный подход применим и к модулям M95 и BC95. Функциональное назначение, уровни сигналов и расположения основных контактных площадок на корпусах модулей M95 и BC95 совпадают. Так, например, контактные площадки у модуля BC95, показанные на рис. 17, VBAT (45), VBAT (46), GND (47), RXD (29), TXD (30), RI (34), USIM_VDD (38), USIM_RST (39), USIM_DATA (40) и другие по расположению на печатной плате и по назначению совпадают с контактными площадками модуля M95: VBAT (33), VBAT (34), GND (38), RXD (21), TXD (22), RI (28), SIM_VDD (27), SIM_RST (28), SIM_DATA (29). Аналогичным образом совпадают и все остальные выводы модуля BC95.

Частично некоторые из перечисленных характеристик были рассмотрены в первой части статьи. Часть перечисленных свойств не требует дополнительных пояснений. Поэтому остановимся только на наиболее важных особенностях.

Одной из ключевых и наиболее важных черт LPWA (eMTC/NB-IoT) модулей Quectel является поддержка спящего режима PSM — Power Saving Mode, который дает возможность эксплуатировать полевое устройство несколько лет от одной батареи. Так, например, мобильное устройство NB-IoT с покрытием 164 дБ может работать примерно 10 лет от одной батарейки (250 мАч), если оно передает не больше 200 байт информации один раз в день.

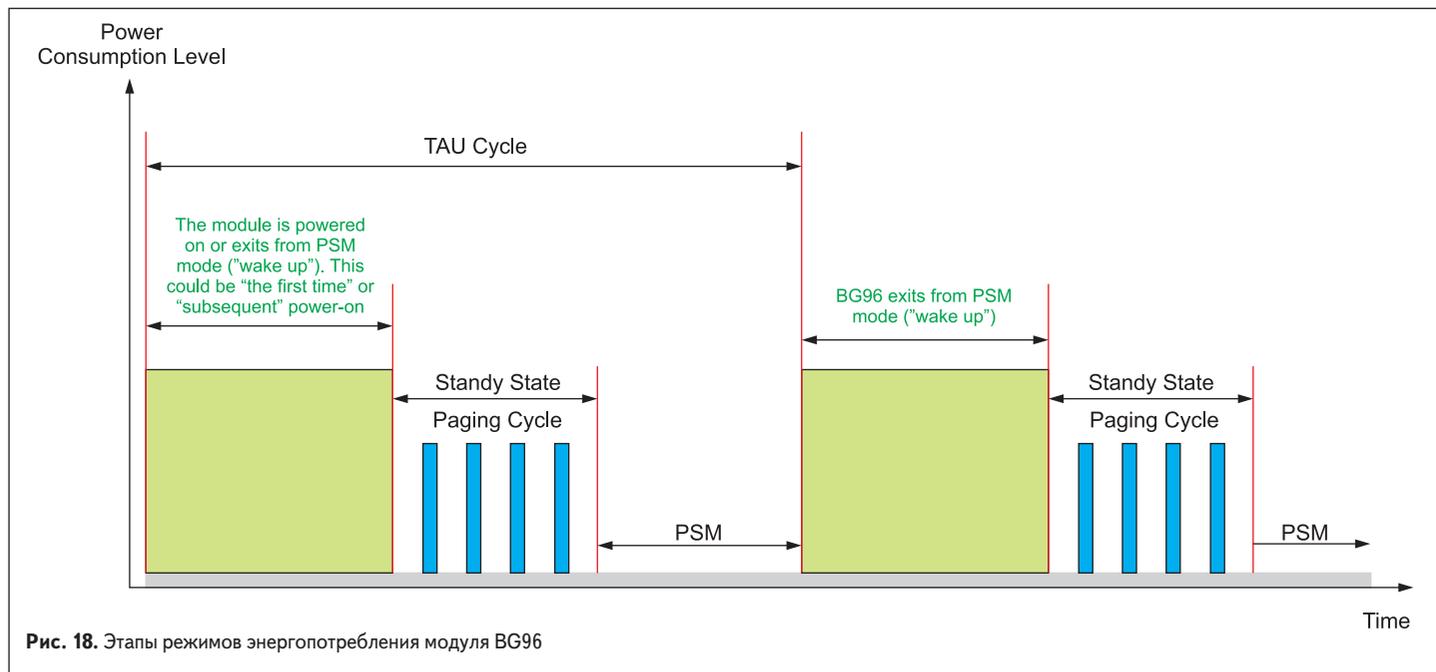
На рис. 18 показаны различные этапы режимов энергопотребления модуля BG96.

В LPWA-модулях Quectel поддерживается режим Extended Discontinuous Reception — e-I-DRX



(ждущий режим с расширенным интервалом работы без обязательных сигнальных сообщений). Этот режим позволяет снизить периодичность сообщений, оптимизировать интервалы приема и получения информации, организовать поддержку длительными

периодов «молчания», в течение которых устройство остается подключенным к сети, не передавая и не получая информацию. Максимальный период eDRX, определенный в Rel. 13, составляет 10485,76 секунды (175 мин). В соответствии с требованиями



Rel. 13 устройства UE должны поддерживать функции конфигурирования режима eDRX, например поддерживать взаимную настройку сети и модуля о параметрах пейджинга в момент регистрации или во время периодической процедуры Tracking Area Update — TAU и Routing Area Update — RAU. Поскольку в режиме e-I-DRX LPWA модули Quectel только слушают эфир, то ток в этом случае составляет единицы миллиампер. Токи потребления BG96 для различных значений времен e-I-DRX приведены в табл. 5.

Согласно Rel. 13 процедура TAU реализуется в тех случаях, когда подключенное к GPRS или U-UTRAN устройство UE выполняет одно из следующих действий (рис. 18):

- UE регистрируется в новой зоне отслеживания (TA — Tracking Area), которая отсутствует в списке индикатора зоны отслеживания (TAIs — Tracking Area Indicators).
- Истек срок действия периодического таймера обновления TA.
- UE находилось в состоянии UPMAN PMM_Connected (например, URA_PCH), когда оно повторно выбирает E-UTRAN.
- UE находилось в состоянии GPRS READY, когда оно повторно выбирает E-UTRAN.
- Индикатор TIN указывает состояние P-TMSI, когда UE повторно выбирает E-UTRAN (например, из-за изменений конфигурации несущей, выполняемых на GERAN/UTRAN).
- RRC-соединение было реализовано в процессе перезагрузки, вызванной необходимостью балансировки нагрузки TAU;

- На уровне RRC появляется сообщение об аварийном отключении в E-UTRAN или UTRAN.
- Когда UE изменяет параметры радиосвязи по меньшей мере одной из следующих технологий радиодоступа: GERAN, UTRAN или CDMA 2000.
- Устройство UE находится в режиме поддержки резервного CS или поддержки голоса IMS, либо того и другого, с предпочтением голосового домена для E-UTRAN.
- Устройство UE, находящееся в режиме поддержки SR-VCC, изменяет MS Classmark 2 или MS Classmark 3, а также поддерживаемые кодеки.
- Устройство UE находится в режиме ручного выбора ячейки CSG, CSG-идентификатор которой отсутствует как в списке разрешенных CSG UE, так и в списке CSG оператора UE.

Режим Standby State на рис. 18 соответствует состоянию, когда модуль зарегистрирован в сети, но нет активных действий по приему и передаче информации.

Основные параметры режима PSM (рис. 18) описаны в документах 3GPP Rel. 12 [23]. По существу, режим PSM можно сравнить с полным отключением питания. Однако в этом режиме устройство пользователя (UE) остается зарегистрированным в сети, и нет необходимости повторно подключать или восстанавливать соединения PDN. При этом, чтобы вернуть устройство в нормальный режим работы, необходимо задать таймер сна или использовать внешнее воздействие, например процедуру TAU

(Tracking Area Update). В течение выполнения процедуры отслеживания и добавления зоны контроля TAU модуль отправляет запрос на вход в режим PSM: ATTACH REQUEST. После того как сеть приняла этот запрос, включается таймер активного режима (T3324). Когда время таймера T3324 истекает, модуль переходит в режим PSM на период T3412 (периодический таймер TAU). После окончания действия этого таймера модуль выйдет из режима PSM. Также модуль выходит из режима PSM в том случае, когда передается исходящее сообщение типа Mobile Originated.

Все LPWA-модули Quectel поддерживают стандартные AT-команды (Rel. 13), а также специальные команды Quectel Enhanced AT [24].

Для работы с PSM используется многопараметрическая стандартная (Rel. 13) команда AT+CPSMS, которая позволяет выбрать конкретные настройки этого режима для определенного типа устройства UE.

С помощью этой команды прежде всего определяется текущее состояние UE и его способность поддерживать режим PSM. Кроме того, команда позволяет определять такие важные параметры, как: расширенное периодическое значение RAU; значение таймера GPRS READY в сетях GERAN; расширенное периодическое значение TAU в сетях E-UTRAN; значение активного времени работы Active Time, определяемое командой AT+CGREG; значение таймера GPRS READY timer (таймер T3314), выделенное модулю сетью GERAN; значения Active Time (таймер T3324) и TAU (таймер T3412), которые выделены модулю сетью E-UTRAN.

Формат команды:

```
AT+CPSMS=<mode>[,<Requested_Periodic-RAU>[,<Requested_GPRS-READY-timer>[,<Requested_Periodic-TAU>[,<Requested_Active-Time>]]]]
```

Задавая определенные значения параметров этой команды, можно в широких пределах регулировать работу модуля в режиме PSM.

Например, параметр <mode> определяет следующие состояния модуля:

- Включить режим работы PSM — <mode> = 0.
- Выключить PSM — <mode> = 1.
- Выключить режим PSM и вернуться к заводским настройкам — <mode> = 2.

Подробное описание этой команды приведено в руководстве пользователя [24].

Специальная команда, разработанная Quectel, AT+QPSMS предоставляет дополнительные возможности управления спящим режимом — Extended Power Saving Mode Setting. Подробное описание этих команд приведено в руководстве пользователя [24].

Выход из режима PSM можно реализовать как в ручном, так и в автоматическом режимах. В автоматическом режиме выход из режима PSM осуществляется сразу после того, как истекает время действия таймера T3412 (periodic TAU value). Например, задать время таймера Active Time (T3324), равное 30 с, и время таймера Periodic TAU value (T3412), равное 40 мин, можно с помощью команды:

```
AT+QPSMS=1,,»0000100»,»00001111»
```

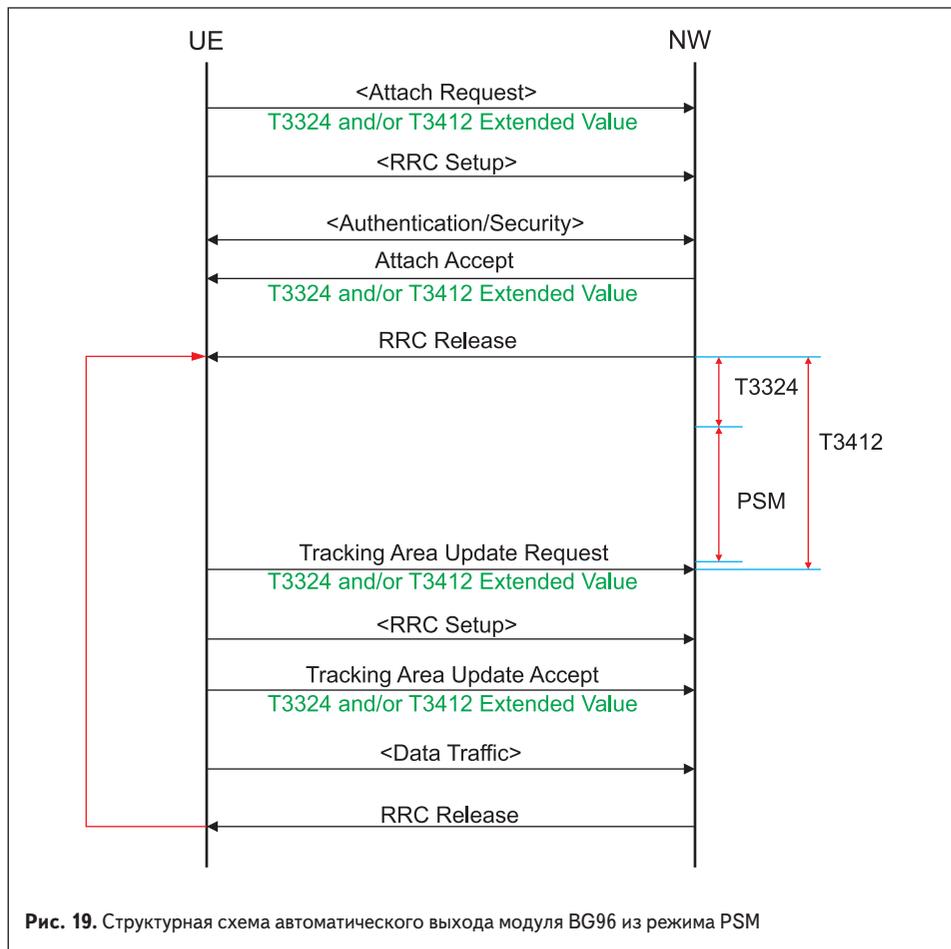


Рис. 19. Структурная схема автоматического выхода модуля BG96 из режима PSM

Процесс вывода модуля из режима PSM в ручном режиме схематически показан на рис. 19. Для того, чтобы вывести модуль из режима PSM в ручном режиме, нужно подать на вывод PWRKEY низкий логический уровень напряжения и затем активировать режим приема или передачи данных.

Все модели NB-IoT имеют интерфейсы: Power Supply, USIM (1.8/3.0V), UART, ADC, RESET, Antenna Interface, Network status indication (последнего нет в модуле BC95). Кроме того, дополнительные интерфейсы есть в отдельных моделях. Об этом будет сказано в следующем разделе.

Все LPWA-модули Quectel поддерживают сетевые протоколы PPP/ TCP/ UDP/ SSL/ FTP/ HTTP. Двухточечный протокол «точка-точка» (Point to Point Protocol — PPP) уровня Data Link, предназначенный для установления прямой связи между узлами сети, является базовым для модулей LPWA. Для обмена данными между модулем и сервером, как правило, используется интерфейс UART. При этом нужно, чтобы сервер также поддерживал

такие сетевые протоколы, как, например, TCP/ IP, HTTP (S) и т. д.

Прежде чем соединение «точка-точка» будет установлено, модуль должен зарегистрироваться в сети LTE Cat. NB1 или других поддерживаемых сетях, например LTE Cat. M1, EGPRS для BG96. Для работы с протоколом PPP используются хорошо известные стандартные AT-команды. После регистрации в сети с помощью команды AT+CGDCONT определяется точка доступа (Access Point Name — APN) для соединения PPP. Начало сеанса реализуется стандартной командой ATD*99#. После того как PPP-соединение установлено, сервер сможет передавать IP-пакеты по сети Интернет. Большинство стандартных операционных систем (например, Windows, Unix/Linux) включают в себя стек протокола PPP.

Кроме стандартных AT-команд, в модулях Quectel поддерживаются специальные команды, позволяющие упростить работу с протоколами TCP/IP), HTTP(S) и PDP контекстом. Подробно работа с AT-командами описана в AT Commands

Manual, которые можно для каждого модуля найти на сайте Quectel.

Вся цитированная в статье техническая документация доступна на сайте официального дистрибьютора в России [31]. ■

Литература

22. www.quectel.com/product/list/LPWAIoTModule.htm
23. www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/STD-T63v11_00/5_Appendix/Rel12/24/24301-c80.pdf
24. www.quectel.com/UploadImage/Downlad/Quectel_BG96_AT_Commands_Manual_V2.1.pdf
25. www.quectel.com/product/lteopenkit.htm
26. <ftp://ftp2.quectel.com>
27. quectel-ro.mooco.com:7080/udp-server/
28. www.youtube.com/watch?v=6UKqCMChjNA
29. www.opencpu.org/
30. en.dlyang.me/quectel-uemonitor-instructions/
31. satronel.ru/ru/product/Satron/BC95