

Навигационный модуль LC79D —

современное решение для массовых систем высокоточного позиционирования

В статье описан принцип работы и предоставлены характеристики нового двухчастотного GPS-модуля Quectel LC79D на чипсете Broadcom BCM47755, работающем в диапазонах L1 и L5 и обеспечивающем точность позиционирования не хуже 1 м даже в условиях плотной городской застройки. Поддерживается одновременное использование сигналов различных навигационных систем: GPS, Galileo, QZSS, GLONASS, BeiDou, IRNSS. Данный модуль может быть интересен разработчикам точных систем позиционирования для промышленности, сельского хозяйства, геодезии и в большинстве случаев исключает необходимость развертывания относительно дорогой инфраструктуры для функционирования в режиме RTK DGPS.

Виктория Марусич

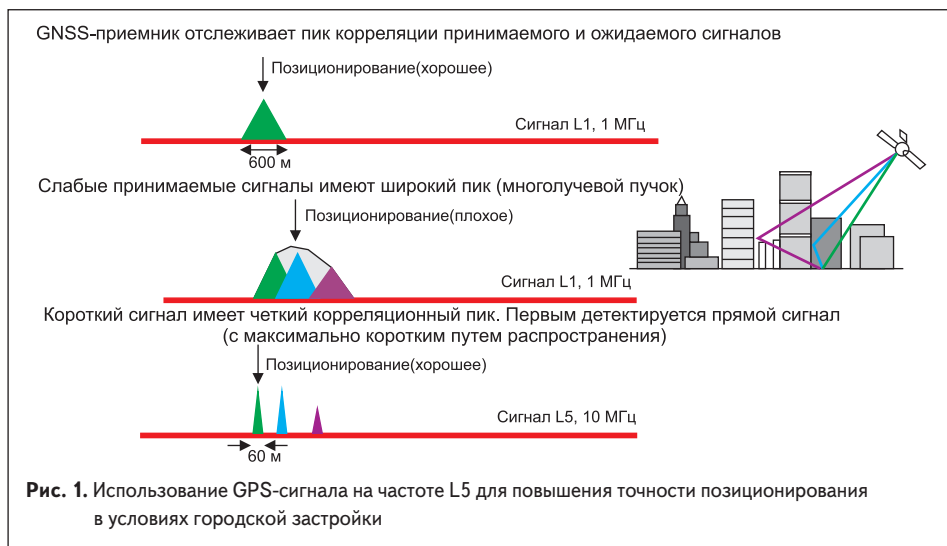
Спутниковая навигация стала неотъемлемой частью современной жизни и основой многих систем, критически важных как для решения повседневных задач, так и в чрезвычайных ситуациях, когда на карту поставлена жизнь и здоровье людей. От точности и надежности систем определения координат напрямую зависит эффективность работы множества сервисов, в том числе охранных служб и служб спасения. Поэтому неизменно актуальной является работа над постоянным совершенствованием характеристик навигационных систем и созданием новых независимых решений, управляемых отдельными государствами и допускающих в том числе и военное применение.

Сегодня имеется четыре действующие навигационные системы: GPS, принадлежащая министерству обороны США, ГЛОНАСС, принадлежащая Министерству обороны РФ, китайская BeiDou и европейская Galileo. В состоянии активной разработки и тестовой эксплуатации находятся еще две региональные системы — индийская IRNSS и японская QZSS. Любая навигационная система содержит космический сегмент, представляющий собой спутниковую группировку, собственно, передающую навигационные сигналы, и наземный сегмент, состоящий из центра управления и командно-измерительных комплексов. Основная задача наземного сегмента — поддержка целостности космического сегмента, формирование и контроль навигационных сигналов. Отдельно можно выделить пользовательский сегмент — совокупность технических средств, позволяющих вести прием навигационных данных и получать текущую координату приемника с заданной точностью [1].

Принцип определения координат базируется на беззапросных дальномерных измерениях. Каждый спутник-передатчик включает в нави-

гационную посылку свои координаты и точное время, синхронизированное по атомным часам. Способ измерения дальностей основан на вычислении временных задержек распространения сигнала от нескольких спутников к потребителю. Для повышения точности измерения необходимо учитывать релятивистские эффекты, связанные с различными гравитационными потенциалами на орбитах спутников и на поверхности Земли. Точность определения координат зависит от нескольких факторов: точности атомных часов на спутниках, точности определения координат самого спутника, ионосферных и тропосферных флуктуаций, влияющих на скорость распространения радиоволн, многолучевость принимаемого сигнала в условиях наличия препятствий у поверхности Земли. Одной из наиболее распространенных и наиболее точных навигационных систем является GPS (Global Positioning System), принадлежащая министерству обороны США. В настоящее время GPS доступна для использования в гражданских целях и имеет практически глобальное покрытие всей территории планеты. Основным недостатком этой системы заключается в ее полной зависимости от военного ведомства конкретного государства с возможностью регионального отключения или манипулирования в условиях военной необходимости. Космический сегмент GPS состоит из 32 спутников, находящихся на круговых орбитах с высотой около 20 тыс. км и имеющих одинаковый период обращения около 12 ч и одинаковое наклонение 55°. В зависимости от долготы восходящего узла орбиты спутников объединены в шесть групп, покрывающих определенные участки поверхности земного шара.

Используется три частотных канала: L1 с частотой 1575,42 МГц, L2 с частотой 1227,60 МГц и L5 с частотой 1176,45 МГц. Частота L1 предназначена для гражданского сегмента и служит для



передачи сигнала типа C/A. До 2000 года практиковалось искусственное загромождение данного сигнала для снижения точности определения координат гражданскими ресиверами с целью предотвращения возможности использовать их в военных целях. Для американских военных и союзников дополнительно доступны сигналы повышенной точности в диапазонах L1 и L2, зашифрованные специальным кодом, имеющимся только в военных моделях ресиверов. Частота L5 активно используется лишь с 2014 года и доступна лишь на 12 спутниках нового блока III. Основным отличием данного сигнала является увеличенная на 3 дБ мощность, широкая полоса и низкая длительность посылки. Эти факторы значительно повышают надежность приема и точность позиционирования при слабых сигналах и массивных перетражениях у поверхности Земли (например, в условия многоэтажной городской застройки, так называемых Urban Canyons, рис. 1). Данный сервис относится к категории safety of life (охрана жизни человека) и может быть использован в различных транспортных системах для повышения безопасности последних [2].

До недавнего времени в гражданском пользовательском сегменте был реально доступен только сигнал C/A на частоте L1. Лишь немногие специализированные ресиверы содержали приемник на частоте L2, позволявший на порядок повысить точность позиционирования. К сожалению, такие ресиверы подпадали под региональные ограничения, да и цена их на тот же порядок превышала среднюю стоимость общераспространенных ресиверов гражданского сегмента.

Иная ситуация сложилась с предоставлением в открытое пользование частоты L5 [3]. В 2018 году компания Broadcom презентовала первый общедоступный чипсет BCM47755, позволяющий эффективно применять сигнал на частоте L5 для повышения общей точности GPS-позиционирования до 30 см на открытом пространстве и не хуже 1 м в городских условиях [4].

Кроме GPS L1 и L5, данный чипсет использует и сигналы спутников других общедоступных навигационных систем: GLONASS L1, BeiDou (BDS) B1, QZSS L1, Galileo (GAL) E1, Galileo E5a и QZSS L5. Гибкий алгоритм сопоставления данных от различных спутников позволяет значительно

повысить точность позиционирования в любых условиях независимо от качества и точности каждого отдельно взятого сигнала, то есть спонтанное или целенаправленное ухудшение качества сигналов одной из систем не становится критичным для определяемых координат в целом.

При разработке чипсета BCM47755 значительное внимание уделено энергопотреблению. В составе чипсета имеется два ядра, выполненных по 28-нм технологии, — низкопотребляющее Cortex-M0 и более мощное Cortex-M4, используемое лишь при необходимости массивных вычислений, например в моменты первичной фиксации или критической потери точности. Кроме того, реализованы интеллектуальные режимы энергосбережения, позволяющие за счет периодической работы значительно снизить общее энергопотребление при некотором уменьшении точности позиционирования и времени реакции на перемещение. Данный чипсет доступен в миниатюрном 77-выводном WLPGA-корпусе (рис. 2) и предназначен для эксплуатации в смартфонах, миниатюрных трекерах и в составе специализированных навигационных модулей-полуфабрикатов.

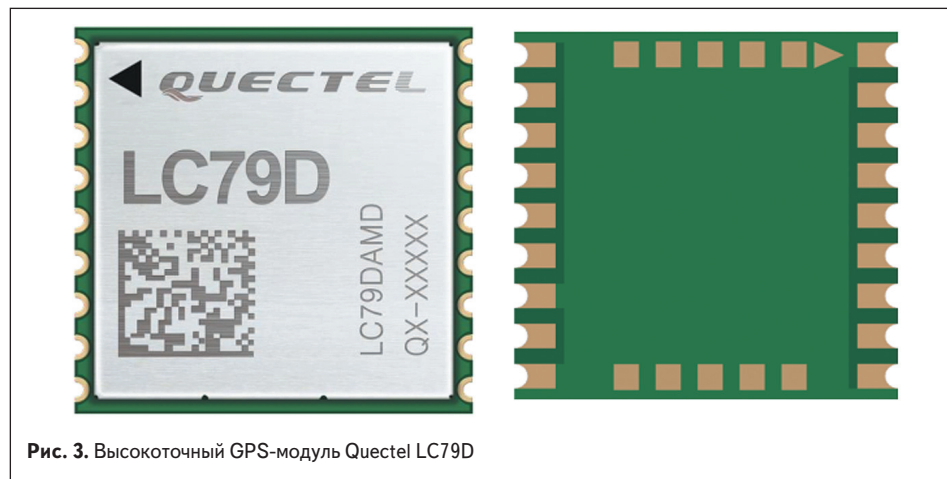
Первым общедоступным навигационным модулем, использующим чипсет BCM47755, является модуль LC79D, презентованный компанией Quectel в конце 2019 года [5].

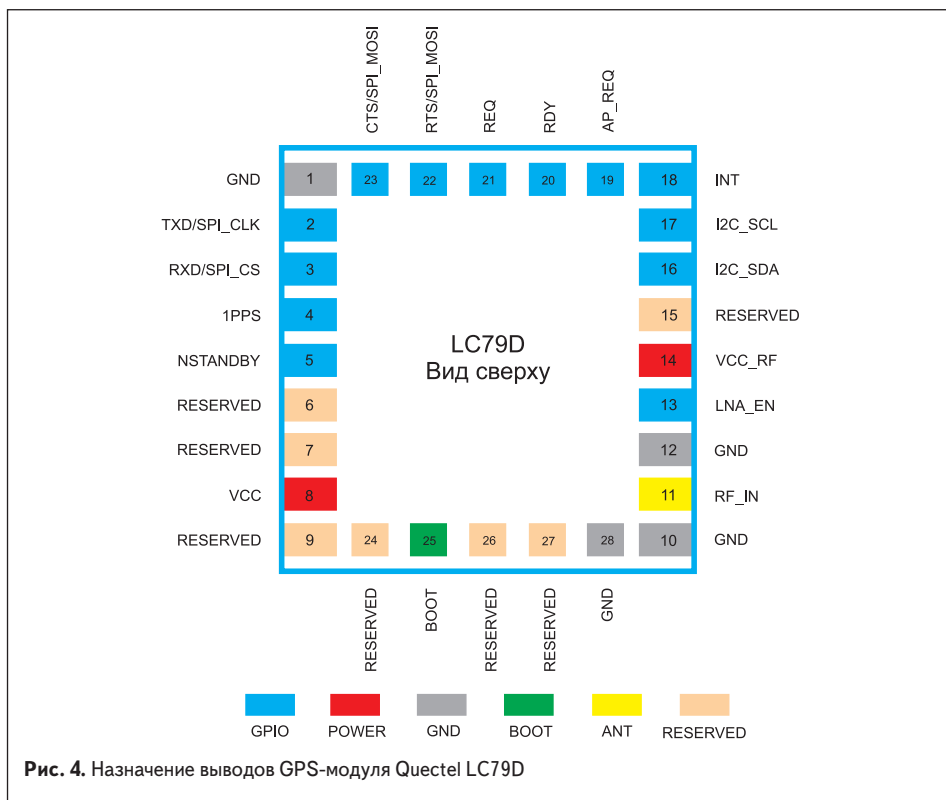
Данный модуль (рис. 3) интегрирует сам чипсет BCM47755, цепи питания, точный кварцевый

генератор, антенные цепи и малошумящий усилитель, а также физические интерфейсы пользователя. Модуль выполнен в компактном корпусе размером 10,1×9,7×2,4 мм с 28 выводами, расположенными по краям (рис. 4). Вес модуля составляет 0,42 грамма, рабочий диапазон температур –20...+85 °С.

Модуль обеспечивает максимальную погрешность точности позиционирования в пределах 1,2 м, определяет скорость движения с точностью 0,1 м/с и генерирует метки времени с точностью 10 нс. Чувствительность при обнаружении спутников составляет –147 дБм, а при слежении повышается до –163 дБм и обеспечивается встроенным малошумящим усилителем и наличием адаптивного полосового фильтра. Эффективная система быстродействующего АРУ позволяет снизить эффект подавления более слабых сигналов спутниками, расположенными в зените. Блок-схема модуля приведена на рис. 5.

Электрические характеристики данного модуля [6] в основном соответствуют типовым характеристикам модулей более раннего поколения: при напряжении питания в диапазоне 1,7–1,9 В потребляемый ток составляет 30–40 мА в режиме непрерывного приема (потребляемая мощность около 77 мВт). Время холодного старта 34 с, горячего старта — менее 2 с. Пользовательские интерфейсы UART (в модификации LC79DA), SPI (в модификации LC79DB) и I²C (в обеих модификациях) позволяют интегрировать





модуль в многокомпонентные навигационные системы, например с помощью технологии UDR (Untethered Dead Reckoning), которая базируется на применении дополнительных сенсоров перемещения (внешних акселерометра и гироскопа) для коррекции выдаваемых модулем данных позиционирования при кратковременной потере спутникового сигнала. Модуль поддерживает возможность такой коррекции, выступая в качестве хоста, использующего подключенные сенсоры для повышения точности позиционирования. Для достижения этой цели LC79D проводит предварительную калибровку сенсоров во время стоянки и равномерного движения в условиях хорошего GPS-сигнала, а затем интегрирует эти данные с текущими GPS-координатами, таким образом уменьшая их погрешность.

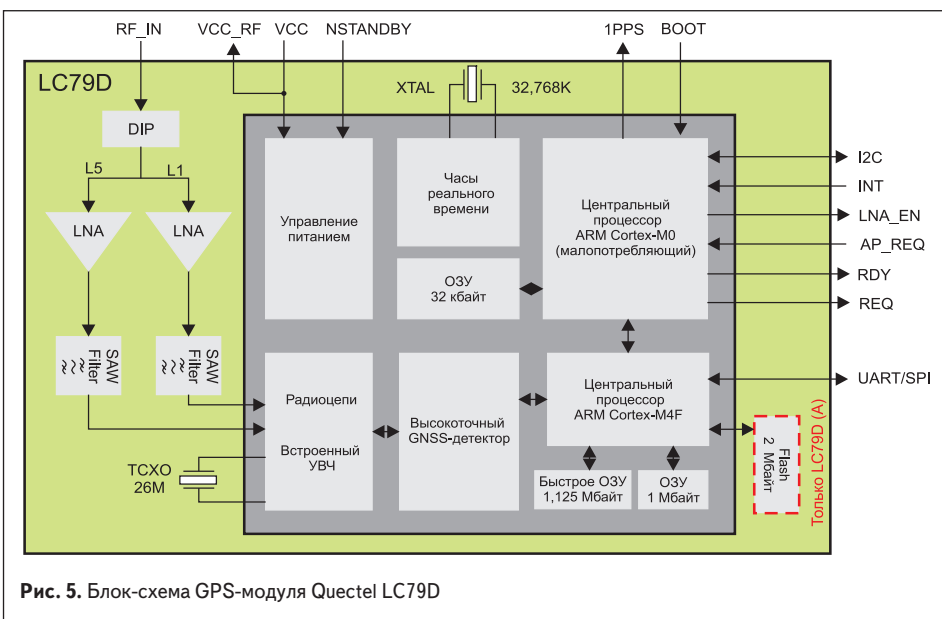
Дополнительно модуль в модификации LC79DA имеет внутреннюю Flash-память, которая может использоваться для хранения трека в режиме логгера без внешнего управляющего микроконтроллера. На момент написания статьи некоторые интерфейсные функции (например, использование I²C) пока не документированы и находятся на стадии разработки. Они будут реализованы в последующих версиях прошивки и доступны после ее обновления при помощи специальной утилиты, предоставляемой разработчиком вместе с соответствующей прошивкой.

Навигационная информация может обновляться с частотой до 20 раз/с, что позволяет использовать модуль для эффективного и точного позиционирования быстро движущихся

объектов, в том числе как вспомогательную систему ориентирования в составе автопилотов автомобилей. Выдаваемые модулем данные соответствуют стандартному протоколу NMEA или специализированному протоколу Broadcom. Управление модулем и встроенным чипсетом также осуществляется по протоколу Broadcom. Дополнительно доступна среда разработки (SDK), созданная компанией Quectel на основе NDA-информации от Broadcom и позволяющая реализовать собственный алгоритм управления работой модуля с помощью внешних команд или встроенного кода. Также имеется открытая библиотека графических символов и посадочных мест для различных сред разработки схемотехники и печатных плат [7].

Таким образом, новый навигационный модуль LC79D от компании Quectel на базе чипсета Broadcom BCM47755 обеспечивает повышенную точность навигации с ошибкой 0,3–1,2 м за счет комплексного использования сигналов различных навигационных систем (GPS L1+L5, GLONASS L1, BeiDou (BDS) B1, QZSS L1, Galileo (GAL) E1, Galileo E5a и QZSS L5). Новый сигнал GPS L5, характеризующийся высокой точностью и помехозащищенностью и предназначенный для современных критических систем, связанных с обеспечением транспортной безопасности, существенно повышает устойчивость приема в условиях плотной городской застройки. Предоставляется возможность работы с внешним акселерометром и гироскопом для обеспечения непрерывного позиционирования при кратковременном пропадании спутниковых сигналов. Эффективные режимы энергосбережения позволяют использовать модуль в устройствах с батарейным питанием и обеспечивают длительное время автономной работы при отсутствии перемещения.

Данные характеристики являются уникальными для современных навигационных решений и вместе со сравнительно низкой стоимостью определяют модуль Quectel LC79D как предпочтительный вариант выбора при необходимости обеспечения высокой точности навигации в массовых бытовых и промышленных устройствах. ■



Литература

1. Система глобального позиционирования GPS. www.wikipedia.org/wiki/GPS
2. Как работает двухчастотная GPS-навигация. www.v-androide.com/obzory/technology/kak-rabotaet-dvuchastotnaya-gps-navigaciya.html
3. 2018 will mark a milestone in GNSS technology with 30-centimeter accuracy. www.electronics-lab.com/2018-will-mark-milestone-gps-technology-30-centimeter-accuracy/
4. BCM47755 Third-Generation GNSS Location Hub with Dual Frequency Support. www.broadcom.com/products/wireless/gnss-gps-socs/bcm47755
5. GNSS LC79D. www.quectel.com/product/lc79d.htm
6. LC79D Hardware Design. www.quectel.com/UploadImage/Downlad/Quectel_LC79D_Hardware_Design_V1.0.pdf
7. Free library of symbols & footprints for the LC79D by Quectel. www.snapeda.com/parts/LC79D/Quectel/view-part/