

Новый прецизионный ГНСС-модуль u-blox MAX M10S

с ультранизким энергопотреблением

Мировой лидер в разработке и производстве GNSS-чипов и модулей, швейцарская фирма u-blox анонсировала новый ГНСС-модуль MAX M10S с крайне низким энергопотреблением и высокой точностью определения координат.

Модуль предназначен для использования в автомобильном транспорте, промышленных приложениях, беспилотных наземных и летательных средствах, устройствах с батарейным питанием. Энергопотребление нового модуля почти в три раза ниже, чем у аналогичных модулей подобного класса, предлагаемых сегодня на рынке. Так, при полной заявленной функциональности потребляемая мощность MAX M10S не превышает 25 мВт. Модуль MAX M10S поддерживает работу с GPS/QZSS, BeiDou, Galileo, GLONASS и способен отслеживать одновременно четыре разные ГНСС даже в условиях постановки ложных навигационных спутниковых сигналов.

Модуль работает на базе новейшей платформы u-blox M10, которая позволяет достичь точности позиционирования до 2 м (СЕР) при минимальных временах захвата и ультранизком потреблении.

Виктор Алексеев, к. ф.-м. н.

В настоящее время ГНСС-приемники используются в самых разных промышленных, военных, научных и бытовых приложениях.

Каждое из приложений имеет свои собственные требования, предъявляемые к конструкциям и параметрам приемников ГНСС. Часто эти требования начинают конфликтовать между собой. Например, по мере того как ГНСС-приемник будет увеличивать частоту обновления данных местоположения, станут возрастать и вычислительные мощности, что в свою очередь снизит срок автономного питания. Таким образом, точность позиционирования вступает в противоречие с энергопотреблением.

С другой стороны, точность позиционирования носимых и портативных устройств во многом зависит от размеров антенны и правильного ее размещения. Для бытовых трекеров невозможно использовать большие направленные антенны. Особенно влияние антенны заметно в случаях, когда ГНСС-приемник установлен на быстро движущихся объектах, например трекере для собак. Здесь размер антенны и ее тип обуславливают точность определения координат: чем сложнее и больше антенна, тем

выше точность. Однако для нашего примера с собакой нужна простая и легкая антенна.

Особый класс составляют трекеры, предназначенные для позиционирования грузов. Такие устройства должны быть точными, миниатюрными и работать без замены батареи в течение многих месяцев.

С целью создания универсального ГНСС-приемника, способного примирить эти противоречия была разработана специальная программно-аппаратная технологическая платформа, получившая название u-blox M10 Ultra-low power Standard Precision GNSS platform.

Как следует из названия, платформа обеспечивает ультранизкое энергопотребление при стандартной прецизионной точности определения координат. Аппаратная часть платформы на сегодня представлена ГНСС-чипом UBX-M10050-KB [1].

На базе этого чипа выпускается полностью готовый к работе модуль MAX M10.

Программная оболочка, выпущенная 20.11.2020, носит название Firmware version ROM SPG 5.00 (0dbd69), Protocol version PROTVER=34.00.

Основные преимущества технологии u-blox M10 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные преимущества технологии u-blox M10

Наименование	Преимущества u-blox M10
Скорость обновления	До 10 Гц при мощности потребления 12 мВт
Динамическая точность	Одновременная обработка сигналов спутников четырех различных ГНСС в условиях сильных помех
Антенна	Технология обработки слабых сигналов Super-5 позволяет работать с маленькой антенной
Потребляемая мощность	Программируемые режимы энергопотребления в зависимости от скорости обновления данных позиционирования

Указанные преимущества обеспечивают платформе u-blox M10 лидирующие позиции в производстве таких устройств, как спортивные часы, переносные малогабаритные устройства с батарейным питанием, трекеры для домашних животных и детей, трекеры для логистических товаров, автомобильные трекеры, не разряжающие аккумулятор при длительной стоянке, и другое аналогичное оборудование.

Одновременный прием и обработка сигналов четырех разных GNSS, реализованный в u-blox M10, позволяет получить максимальную точность отслеживания объектов даже в условиях плотной городской застройки. Это особенно важно при поиске потерявшихся детей, стариков и домашних питомцев.

Кроме того, для этой технологии разработан метод Super-Signal (Super-S), который позволяет увеличить чувствительность при обработке ослабленных сигналов. Такие сигналы могут быть обусловлены неправильным размещением антенны, естественными и искусственными радиочастотными помехами, а также снегом, градом, дождем и облачностью. В условиях неяркой видимости технология Super-S дает 25%-ное улучшение точности позиционирования по сравнению с традиционными методами. Эти свойства значительно упрощают, например, поиск машины на большой стоянке.

Ниже перечислены наиболее значимые новые характеристики платформы M10, отличающие ее от предыдущей версии.

Чувствительность при холодном запуске в M10 улучшена для Galileo/BeiDou на 3 дБ и для ГЛОНАСС на 2 дБ. Чувствительность горячего старта также улучшилась на 3–4 дБ.

Снижены времена первой фиксации (TTFF — time-to-first-fix): Galileo на 7 с; Beidou на 4 с; ГЛОНАСС на 3 с.

В новой версии появилась возможность использовать поправки, предоставляемые сигналом QZSS L1S. Теперь пользователи могут получить доступ к отчету об управлении аварийными и кризисными ситуациями,

включив UBX-RXM-SFRBX и проанализировав его самостоятельно.

Функция поддержки BDSBAS L1 C/A позволяет применять поправки для GPS L1 C/A, предоставляемые через сигнал BDSBAS L1.

Сообщение UBX-MON-SPAN предназначено для поиска и анализа сигналов помех.

В новом чипе используется модернизированная версия работы в автономном режиме AssistNow.

Новая система безопасности предусматривает аутентификацию всех выходных данных с использованием криптографической подписи на базе асимметричного ключа.

С целью снижения энергопотребления введено 5-минутное хранение навигационных решений во внутренней памяти приемника. Это позволяет процессору оставаться в режиме низкого энергопотребления в течение длительного времени.

Максимальная высота, поддерживаемая этим чипом, увеличена до 80 000 м.

Для настройки внешней антенны и снижения энергопотребления чипа u-blox M10 используются разные режимы работы встроенного малошумящего усилителя — байпас, низкое усиление, полное усиление.

В протоколе NMEA дополнительно осуществлена поддержка стандартного отклонения большой полуоси эллипса ошибки, стандартного отклонения малой полуоси эллипса ошибки и ориентации большой полуоси эллипса ошибки в сообщении NMEA GST (stdMajor, stdMinor и orient). Кроме того, сообщение NMEA DTM позволяет отображать P90 в качестве точки отсчета при выборе PZ90.

На экране загрузки появилась возможность видеть уникальный идентификатор чипа и версию прошивки.

Более полную информацию о новой платформе u-blox M10 можно найти в документе [2].

На рис. 1 показана блок-схема нового модуля u-blox MAX M10 [3].

Модуль разработан на базе чипа UBX-M10050-KB, являющегося частью платформы u-blox M10. Эти чипы сертифицированы в соответствии

с AEC-Q100 и выпускаются на аттестованных по стандарту IATF 16949 автоматизированных линиях [4].

К чипу, представляющему собой ядро модуля u-blox MAX M10, подключено всего несколько внешних устройств: блок питания, антенна, супервизор, усилитель LNA, фильтр SAW, радиочастотный блок, генератор часов реального времени (32,768 кГц) и термокомпенсированный кварцевый генератор. Опционно через SPI может быть подключена внешняя память.

Для питания модуля необходим стабилизированный источник питания или батарея с напряжением 2,7–3,6 В. Номинальное питание модуля составляет 3 В. Номинальный ток не превышает 3,3 мА. Предельно допустимые значения напряжения соответственно равны –0,3 и 3,6 В. Максимально допустимый ток равен 50 мА. Режим восстановления работоспособности (Backup supply) 1,65–3,6 В.

Модуль может работать в экономном режиме с минимальным усилением LNA. При этом ток в режиме hardware backup mode не больше 32 мкА. В режиме hardware standby mode ток не превышает 46 мкА.

Перезагрузка модуля (Reset) осуществляется с помощью отрицательного импульса длительностью 1 мс. Диапазон рабочих температур –40...+85 °С.

В таблице 2 даны примеры тока потребления модуля и его вводов/выводов для (VCC и V_{IO}). Следует подчеркнуть, что эти значения носят только информационный характер и приведены как пример работы в режиме холодного пуска. Реальные токи и потребляемая мощность для каждого конкретного пользователя будут зависеть от применяемой версии программного обеспечения, внешней схемы периферийного оборудования, количества отслеживаемых спутников, мощности сигнала, типа и времени запуска, продолжительности работы, режима усиления внутреннего LNA и условий тестирования.

Модуль имеет программируемый последовательный порт UART, предназначенный для организа-

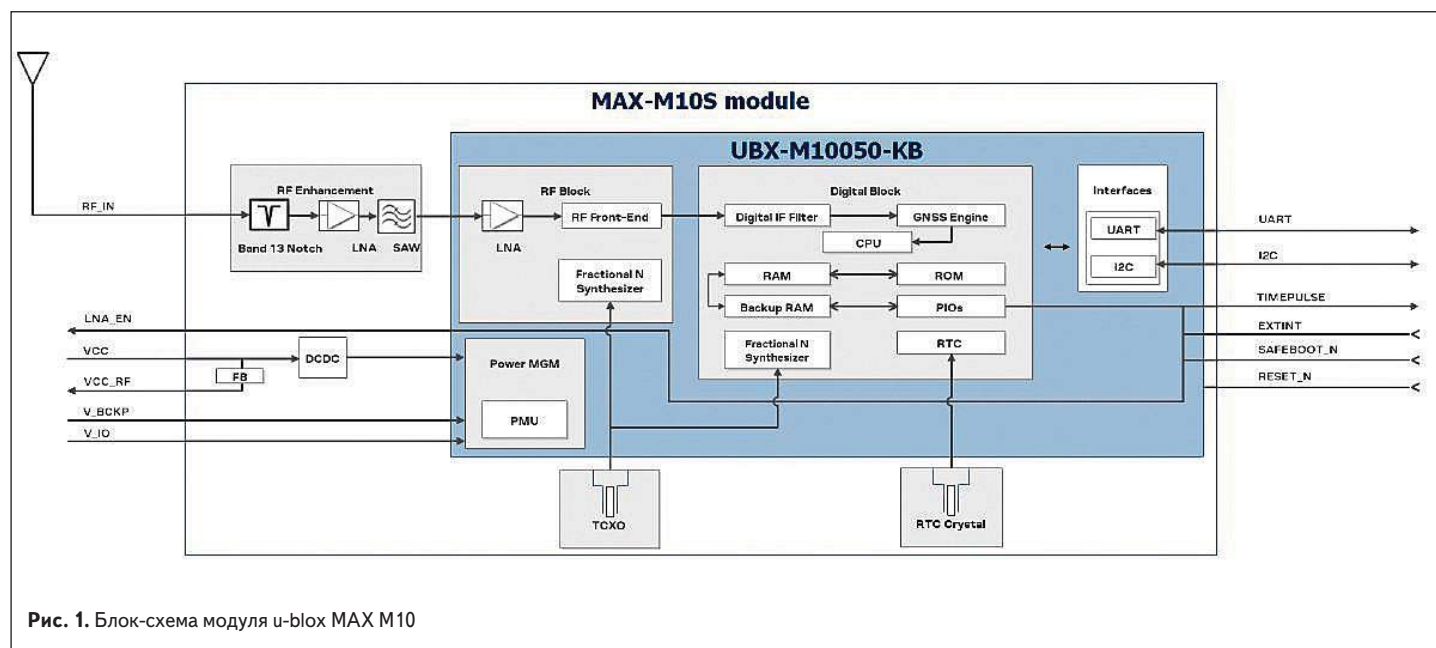


Рис. 1. Блок-схема модуля u-blox MAX M10



Рис. 2. Внешний вид модуля u-blox MAX M10

ции обмена с внешними устройствами. Питание интерфейсов подается по отдельной линии V_{IO} (рис. 1). Универсальный асинхронный интерфейс модуля программируется на скорости передачи 4800–921 600 бит/с с точностью до 1%.

По умолчанию в модуле MAX M10 используются следующие настройки UART:

- 9600 baud, 8 bits, no parity bit, 1 stop bit;
- Input messages: NMEA and UBX;
- Output messages: NMEA GGA, GLL, GSA, GSV, RMC, VTG and TXT.

Модуль имеет также интерфейс DDC (I2C), совместимый с промышленным стандартом Fast-mode industry standard I2C.

Интерфейс Display Data Channel (DDC) представляет собой 2-проводной интерфейс связи, базирующийся на стандартной цифровой последовательной шине. Этот интерфейс концерн u-blox использует в большинстве своих чипов и модулей [5].

Внешнее устройство, например, микроконтроллер, EEPROM или цифро-аналоговый преобразователь, подключенный к интерфейсу DDC, идентифицируется с помощью уникального 7-битного адреса. Адрес DDC по умолчанию для ГНСС-приемников u-blox установлен на 0x42. Изменить этот адрес можно, используя установки для режима в CFGPRT.

В модуле MAX M10 интерфейс DDC может быть предназначен для обмена данными с внешними устройствами на скоростях до 400 кбит/с. Описание контактных линий интерфейсов UART и DDC приведено в таблице 3.

Модуль может работать как с пассивной, так и с активной антенной. В цепь питания антенны встроен монитор состояния антенны. В зависимости от тока в этой цепи формируются сообщения, характеризующие различные режимы работы антенны.

Модуль имеет следующие сертификаты: ISO 16750, ISO/TS 16949, compliantRoHS, Halogen-free, ETSI-RED.

Габаритные размеры модуля: 10,1×9,7 мм. Вес 0,6 г. Внешний вид модуля MAX M10 показан на рис. 2.

Модуль выполнен в конструктиве 18 pin LCC (Leadless Chip Carrier). Все интерфейсные сигналы выведены на 18 контактных площадок с размерами 0,9×0,6 мм, которые расположены на задней поверхности модуля.

Таблица 2. Типовые значения тока при различных режимах работы MAX M10

Символ	Параметр	Условия	GPS	GPS+GAL	GPS+GAL+GLO	GPS+GAL+BEI
IPEAK	Пиковый ток, мА	Обнаружение	25	25	25	25
IVCC	Ток на VCC, мА	Обнаружение	6,5	7	9	10,5
		Слежение (непрерывный режим)	6	6	7	8
IV _{IO}	Ток на вводах/выводах, мА	Обнаружение	2,2	2	2,3	2,3
		Слежение (непрерывный режим)	2,2	2,2	2,3	2,3

Таблица 3. Назначение контактных выводов модуля u-blox MAX M10

Номер вывода	Наименование	Подтягивающие контакты (PIO)	Ввод/вывод (I/O)	Описание
1	GND	–	–	Connect to GND
2	TXD	1	0	UART TX
3	RXD	0	1	UART RX
4	TIMEPULSE	4	0	Time pulse signal
5	EXTINT	5	1	External interrupt
6	V _{BCKP}	–	1	Backup voltage supply
7	V _{IO}	–	1	IO voltage supply
8	VCC	–	1	Main voltage supply
9	RESET _N	–	1	System reset (active low)
10	GND	–	–	Connect to GND
11	RF _{IN}	–	1	GNSS signal input
12	GND	–	–	Connect to GND
13	LNA _{EN}	–	0	On/Off external LNA or active antenna
14	VCC _{RF}	–	0	Output voltage RF section
15	Reserved	–	–	Reserved
16	SDA	2	I/O	I2C data
17	SCL	3	1	I2C clock
18	SAFEBOOT _N	–	1	Safeboot mode (leave OPEN)

Расположение и название контактных площадок модуля u-blox MAX M10 показано на рис. 3.

Назначение контактных выводов модуля u-blox MAX M10 приведено в таблице 3.

Контактные площадки (# 2, 3, 4, 5, 16, 17), на которые выведены линии UART, TIMEPULSE, EXTINT, I²C, могут быть запрограммированы также и для других целей, например, как Enable LNA, TX ready, Data Batching Indicator, Antenna Supervisor. Эти выводы имеют встроенные подтягивающие резисторы. Если какой-либо интерфейс не используется, резисторы оставля-

ют открытыми. На эти контактные площадки (PIO) питание подается от V_{IO}.

Модули MAX M10 могут также использоваться в качестве точных меток времени для различных событий. Для этого используется режим Timing, который включает специальный алгоритм, позволяющий синхронизировать текущее время либо с GPS, либо с UTC (всемирное координированное время). Синхронизирующие импульсы снимаются с вывода TIMEPULSE. Частоту этих импульсов можно перестраивать в диапазоне 0,25 Гц — 10 МГц.

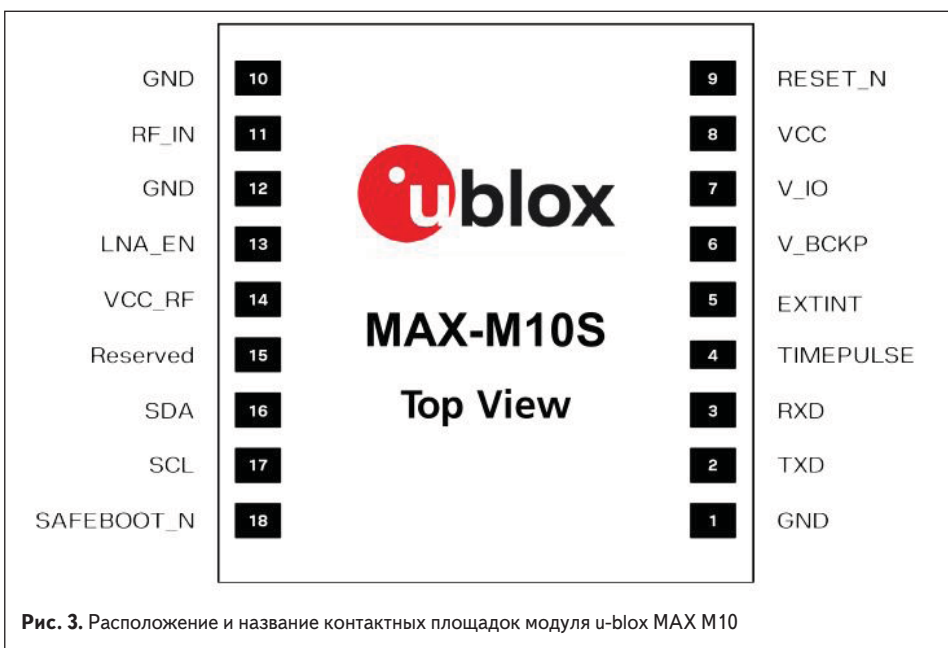


Рис. 3. Расположение и название контактных площадок модуля u-blox MAX M10

Если координаты точно определены, то режим синхронизации можно применять, отслеживая только один спутник. В общем случае для точной синхронизации по времени необходимо отслеживать как минимум четыре спутника. При этом рекомендуется использовать только неподвижные объекты [6].

На выводе EXTINT вырабатывается сигнал внешнего прерывания (External interrupt), с помощью которого можно перезапускать модуль в режим работы EXT Input Wakeup.

Модуль u-blox MAX M10 поддерживает работу со следующими ГНСС:

- GPS: L1C/A (1575,42 МГц);
- Galileo: E1 B/C (1575,42 МГц);
- GLONASS: L1OF (1602 МГц + $k \times 562,5$ кГц, $k = -7, \dots, 5, 6$);
- BeiDou: B1I (1561,098 МГц).

Модуль может работать с сервисами A-GNSS в одном из трех режимов: Online, Off line, Autonomus.

MAX M10 можно использовать совместно с системами дифференциальной коррекции глобальных навигационных спутниковых систем:

- SBAS: EGNOS, GAGAN, MSAS/WAAS;
- QZSS: L1S (SLAS).

Активный антенный супервизор модуля предназначен для оценки оптимального направления на объект с учетом препятствий и помех.

Модуль не теряет работоспособности после пятиминутной работы в автономном режиме без обновления данных со спутников. В модуле предусмотрены аппаратный и программный режимы ожидания с резервным копированием, а также пакетная обработка данных и автономное слежение.

Функция одометра позволяет измерять пройденное расстояние с поддержкой различных профилей пользователей.

Активная внутриполосная фильтрация сигналов ГНСС дает возможность обнаружения сигналов радиочастотных помех и глушения.

В модуле MAX M10 предусмотрен ряд мер, обеспечивающих безопасную работу и защиту от помех, например, anti-jamming и anti-spoofing. Защита от помех реализована с помощью мультитонального активного подавителя помех (Active CW).

Защита anti-spoofing дает возможность бороться с подслушкой (sniffing) процесса инициализации соединения и дальнейшего использования полученных данных для установления несанкционированного соединения (spoofing). Программное обеспечение также способно предотвратить работу с вирусными командами, позволяющими начать процесс инициализации с устройством злоумышленника.

Модуль поддерживает работу с двумя типами дифференциальных поправок. В одном случае используются корректирующие наземные базовые станции (RTCM), на которых установлены прецизионные приемники GNSS, непрерывно обрабатывающие данные всех навигационных спутников. Координаты корректирующих станций определяются с высокой точностью. Модуль принимает сигналы, формируемые наземной контрольно-корректирующей стан-

Таблица 4. Навигационные параметры модуля MAX M10 при работе только с одной из ГНСС (темп выдачи данных 18 кГц, GPS в комбинации с QZSS и SBAS, уровни сигналов -130 дБмВт)

GNSS		GPS	GLONASS (GLO)	BEIDOU (BDS)	GALILEO (GAL)
Время до первого местоопределения	Холодный старт	29 с	27 с	30 с	38 с
	Теплый старт	1 с	1 с	1 с	1 с
	Повторный захват (после блокирования сигналов)	1 с	1 с	1 с	1 с
Чувствительность, дБм	Слежение и навигация	-166	-166	-160	-159
	Повторный захват	-160	-154	-158	-154
	Холодный старт	-148	-147	-146	-141
	Горячий старт	-160	-156	-159	-154
Погрешность определения плановых координат, м, не более	CEP 50%, уровни сигналов -130 дБмВт, HDOP <2, VDOP <3,	2 м	4 м	3 м	3 м

цией. В данном режиме передаются значения поправок, относящиеся к измерениям псевдодальности по сигналам ГНСС, поправки RTK, а также скорость изменения поправок.

В другом варианте, в дифференциальном режиме работы, используются геостационарные спутники SBAS/QZSS, ретранслирующие сигнал корректирующих станций на большие территории. Через спутники SBAS/QZSS передаются данные о целостности навигационной информации, параметры коррекции, номера корректируемых спутников, оценка медленноменяющихся ошибок эфемерид, номера точек ионосферной сетки, значения вертикальных задержек и другие служебные параметры.

Одним из важных свойств модуля является поддержка автономного контроля целостности обрабатываемой навигационной информации в навигационном приемнике — Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM). В модуле MAX M10 эта информация передается в сообщении NMEA-Standard-GBS «GNSS satellite fault detection».

Основная задача RAIM заключается в контроле достоверности навигационных сигналов путем обнаружения отказа FD (Failure Detection) и исключение из навигационного решения аномального измерения FI (Failure Identification). Использование RAIM позволяет исключить ошибки вычисления координат, скорости и высоты, обусловленные ионосферными, тропосферными, метеорологическими эффектами, отражением сигналов спутников в условиях плотной городской застройки, искажениями от линий электропередач, а также другими аналогичными явлениями.

Основные функции RAIM:

- обнаружение неустойчивых сигналов конкретного спутника;

- расчет текущей ошибки определения координат и ее сравнение с максимально допустимым значением;
- формирование и выдача сообщения о недостоверном сигнале;
- исключение сигналов с ошибкой, превышающей максимально допустимое значение из решения навигационной задачи (НЗ).

В RAIM используется метод обработки сигналов избыточного спутника. Например, для вычисления координат необходимы данные как минимум от четырех спутников. В упрощенном виде алгоритм RAIM подразумевает несколько независимых вычислений, результаты которых сравниваются между собой. В результате расчетов определяется четыре надежных сигнала от конкретных спутников. Дополнительные расчеты проводятся с привлечением пятого спутника. Если погрешность повторных вычислений превышает максимально допустимое значение, то сигналы пятого спутника считаются недостоверными в данной точке, в данное время и не учитываются при решении НЗ. Современные реальные алгоритмы RAIM значительно сложнее. Безопасность информации также обеспечивается с помощью криптографических подписей.

В таблице 4 приведены времена до первого местоопределения при работе только с одной из ГНСС.

Благодаря тому что модуль MAX M10 может одновременно принимать и обрабатывать информацию от четырех разных ГНСС, удалось улучшить чувствительность и точность определения координат, время поиска спутников (табл. 5).

Модуль управляет с помощью бинарных или NMEA-сообщений. Поддерживаются следующие стандартные протоколы NMEA: v.2.1, 2.3, 4.0, 4.10. В заводских настройках

Таблица 5. Навигационные параметры модуля MAX M10 при одновременной работе с разными ГНСС (темп выдачи данных 10 кГц)

GNSS		GPS+GAL	GPS+GLO	GPS+BDS	GPS+GLO+GAL	GPS+GAL+BDS
Время до первого местоопределения	Холодный старт	29 с	26 с	27 с	24 с	27 с
	Теплый старт	1 с	1 с	1 с	1 с	1 с
	Повторный захват (после блокирования сигналов)	1 с	1 с	1 с	1 с	1 с
Чувствительность, дБм	Слежение и навигация	-166	-167	-167	-167	-166
	Повторный захват	-160	-160	-160	-160	-160
	Холодный старт	-148	-148	-148	-148	-148
	Горячий старт	-160	-160	-160	-160	-160
Погрешность определения плановых координат, м, не более	CEP 50%, уровни сигналов -130 дБмВт, HDOP <2, VDOP <3	2 м	2 м	2 м	2 м	2 м



Рис. 4. Отладочный комплект EVK-M10 u-blox M10 GNSS evaluation kit

по умолчанию используется версия 4.10. С протоколом NMEA можно работать как в режиме Input/output, так и в режиме ASCII.

Программное обеспечение модуля MAX M10 поддерживает следующие стандартные NMEA-сообщения: DTM, GAQ, GBQ, GNSS, GGA, GLL, GLQ, GNQ, GNS, GPQ, GQQ, GRS, GNSS, GSA, GST, GSV, RLM, RMC, TXT, VLW, VTG, ZDA. Кроме того, существуют проприетарные NMEA-команды u-blox. Например, команда `<$PUBX,41,1,0007,0003,19200,0*25\r\n>` используется для установки протоколов и скоростей передачи. Подробно команды управления и сообщения NMEA описаны в документах [7, 8].

Кроме NMEA, модуль поддерживает u-blox-proprietary-протокол UBX (Input/output, binary), предназначенный в основном для связи с внешним хост компьютером.

Основные отличительные черты протокола UBX:

- компактность: протокол использует 8-битные двоичные данные;
- защита контрольной суммы: задействован алгоритм контрольной суммы с небольшим заголовком, содержащим служебные или пользовательские данные;

- модульность: протокол использует двухэтапный идентификатор сообщения (класс и идентификатор сообщения).

Каждый кадр протокола UBX начинается с 2-байт преамбулы, состоящей из двух символов синхронизации: 0xb5 и 0x62.

Далее следует 1-байт поле группы сообщений, связанных между собой.

Затем идет 1-байт поле идентификатора, определяющее то сообщение, которое должно быть передано. После чего идет поле полезной нагрузки, которое содержит переменное количество байтов.

Завершают кадр два 1-байт поля — СК_A и СК_B, содержащие 16-бит контрольную сумму, расчет которой определяется в разделе контрольной суммы UBX.

Более подробное описание этого протокола приведено в [7].

Следует обратить внимание на времена до первого местоопределения, которые у данного модуля значительно лучше, чем у аналогичных моделей других фирм. Например, горячий старт занимает около 2 с, а на операцию повторного захвата требуется меньше 1 с.

Флэш-память модуля используется для хранения кодов встроенного ПО, настроек и конфигурации модуля, для альманахов КНС.

Модуль имеет два последовательных порта UART, предназначенных для организации обмена с внешними устройствами. Оба порта программируются индивидуально.

Перечисленные преимущества модуля u-blox MAX M10 позволяют использовать его в самых разнообразных приложениях — таких, например, где необходимы системы с батарейным питанием длительного срока службы. В этом плане можно упомянуть бурно развивающееся направление миниатюрных беспилотных летательных аппаратов.

Для разработки изделий на базе модуля u-blox MAX M10 рекомендуется использовать отладочный комплект EVK-M10 u-blox M10 GNSS evaluation kit [9].

Комплект EVK-M101 оптимален для детального изучения особенностей работы модуля u-blox MAX M10. Кит изготовлен в прочном металлическом корпусе размерами 105×64×26 мм (рис. 4).

В составе EVK-M101 предусмотрены отладочный блок, встроенный блок питания, антенна, кабели и пакет программного обеспечения, поддерживающий все функции модуля u-blox MAX M10.

На корпусе отладочного блока имеется разъем, обеспечивающий полный доступ ко всем портам ввода/вывода микросхемы u-blox M10. ■

Литература

1. www.u-blox.com/en/ubx-viewer/view/UBX-M10050_ProductSummary_UBX-20017986?url=https%3A%2F%2Fwww.u-blox.com%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2FUBX-M10050_ProductSummary_UBX-20017986.pdf
2. www.u-blox.com/en/ubx-viewer/view/u-blox-M10_ROM_5.00_ReleaseNotes_UBX-2005098?url=https%3A%2F%2Fwww.u-blox.com%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fu-blox%2520M10_ROM_5.00_ReleaseNotes_UBX-2005098%2529.pdf
3. www.u-blox.com/sites/default/files/MAX-M10S_DataSheet_%28UBX-20035208%29.pdf
4. www.u-blox.com/en/product/ubx-m10050-chip
5. www.u-blox.com/products/ublox5_linecard.html
6. [www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/Timing_AppNote_\(GPS.G6-X-11007\).pdf](http://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/Timing_AppNote_(GPS.G6-X-11007).pdf)
7. www.u-blox.com/en/ubx-viewer/view/M10-FW500_InterfaceDescription_UBX-20053845?url=https%3A%2F%2Fwww.u-blox.com%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2FM10-FW500_InterfaceDescription_UBX-20053845.pdf
8. www.u-blox.com/sites/default/files/GNSS-FW4.03_ReleaseNotes_%28UBX-20009057%29.pdf
9. www.u-blox.com/en/product/evk-m10