

# Точная навигация с помощью ГНСС-модуля ZED-F9P

от u-blox

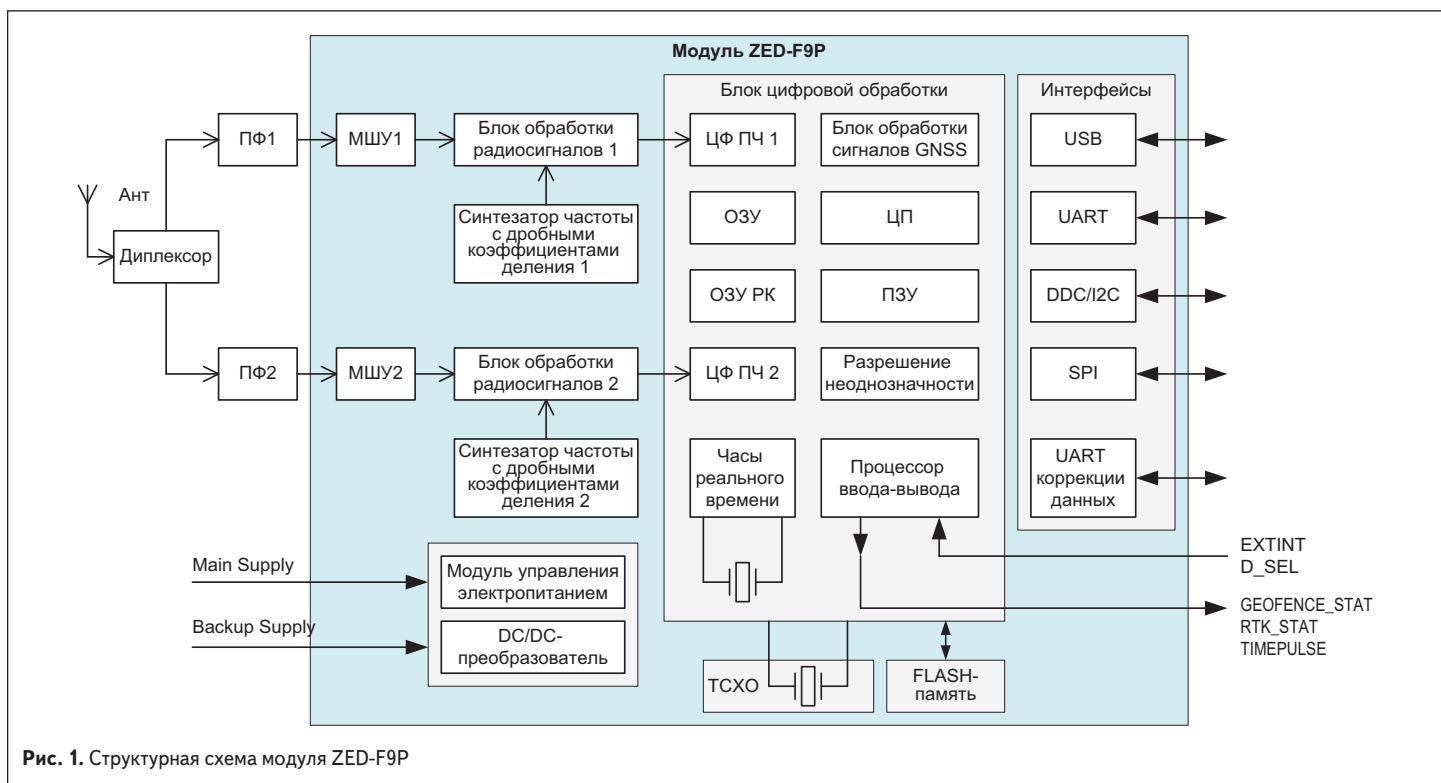
В статье приведена краткая информация о действующих системах глобального позиционирования и преимуществах использования нескольких таких систем одновременно. Такую функцию обеспечивают навигационные модули компании u-blox, которые поддерживают работу с навигационными системами GPS, GLONASS, GALILEO и BEIDOU одновременно и обеспечивают при этом точность определения координат до нескольких сантиметров в режиме RTK\*. Для отладки систем с использованием модулей ZED-F9P компания u-blox предлагает отладочную плату и бесплатное программное обеспечение, позволяющие использовать как одну, так и две таких платы одновременно.

Владимир Макаренко, к. т. н.  
v\_mak@ukr.net

Любая система глобального позиционирования предназначена для обеспечения измерения расстояния, времени и определения местоположения. Она позволяет в любом месте Земли (исключая приполярные области), а также в космическом пространстве вблизи планеты определить местоположение

и скорость объектов. Первая такая система разработана, реализована и эксплуатируется Министерством обороны США.

Для решения задач точной навигации и геопозиционирования компания u-blox выпустила модуль ZED-F9P с многоканальным ГНСС-приемником [1–3]. Модуль поддерживает работу



\* RTK (Real-Time Kinematic — кинематика в реальном времени) — метод съемки, при котором мобильный приемник быстро определяет координаты своего текущего местоположения с сантиметровой точностью путем измерения приемником фазы несущего колебания спутникового сигнала. Эти измерения в сочетании с поправками от локальной или виртуальной базовой станции позволяют приемнику решать неоднозначности фазы несущего колебания и предоставлять точную информацию о положении на уровне нескольких сантиметров конечному пользователю, обычно движущемуся устройству, называемому ровером. Для съемки используются два приемника. Один (база) устанавливается на выбранном пункте, в то время как другой (ровер) предназначен для съемки.

со всеми существующими на данный момент навигационными спутниковыми системами. С каждой системой модуль взаимодействует одновременно на двух рабочих частотах, что способствует повышению точности позиционирования. Модуль обеспечивает многополосный режим приема с быстрым временем сходимости и высокой производительностью. Он имеет высокую частоту обновления для высокочастотных приложений и точность позиционирования несколько сантиметров в режиме RTK.

Структурная схема модуля приведена на рис. 1.

Сигнал, принимаемый антенной, разделяется диплексором на два канала обработки, в каждом из которых содержится полосовой фильтр (ПФ) на ПАВ, маломощный усилитель (МШУ) и блок обработки радиосигналов. В блоке обработки радиосигналов осуществляется усиление сигналов и преобразование их в цифровую форму. Выходной сигнал этого блока через цифровой фильтр промежуточной частоты (ЦФ ПЧ) поступает в блок цифровой обработки, в котором осуществляется обработка сигналов ГНСС.

Основное отличие модуля ZED-F9P от модулей NEO-M8 заключается в том, что в новом модуле обеспечивается одновременная работа с системами спутниковой навигации GPS, GLONASS, GALILEO и BEIDOU. В модуле NEO-M8 поддерживается работа со всеми перечисленными системами навигации, но не одновременно.

Многодиапазонный приемник ZED-F9P обеспечивает точность определения координат до нескольких сантиметров. Основные особенности модуля:

- параллельный прием сигналов GPS, GLONASS, GALILEO и BEIDOU;
- многодиапазонный режим RTK с быстрым временем сходимости и высокой производительностью;
- высокая частота обновления;
- точность несколько сантиметров в режиме RTK;
- простая интеграция для быстрого выхода на рынок.

В качестве базы может использоваться:

- пользовательская собственная база с GSM-модемом или УКВ-радиомодемом для передачи поправок;
- принадлежащая третьему лицу, управляющему базой или сетью базовых станций (соединение происходит с помощью NTRIP-протокола) и предоставляющему данные роверу через GSM/GPRS-модем.

В таблице 1 приведены некоторые параметры модулей NEO-M8 [4] и ZED-F9P [1–3], которые позволяют сравнить их между собой.

Напряжение питания модуля 2,7–3,3 В, максимальный ток потребления 130 мА при работе одновременно со всеми навигационными системами.

Высокая точность позиционирования достигнута путем объединения сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), таких как GPS, GLONASS, GALILEO и BEIDOU, с использованием технологии кинематики реального времени (RTK).

Таблица 1. Сравнительные характеристики модулей NEO-M8 и ZED-F9P

Параметр	Значение		
	GPS, GLONASS		GPS+GLONASS+GALILEO+BEIDOU
Приемник	NEO-M8N	NEO-M8M	ZED-F9P
Холодный старт, с	26	27	24
Горячий старт, с	1,5	1,5	2
Старт с А-ГНСС, с	2	4	2
Чувствительность			
Слежение и навигация, дБм	-167	-164	-167
Перезахват, дБм	-160	-159	-160
Горячий старт, дБм	-156	-156	-157
Холодный старт, дБм	-148	-148	-148
Точность позиционирования в режиме RTK, м	2,0 (СЕР 50%, 24 ч. статика)		0,01
Частота метки времени, Гц	0,25–10 (конфигурируется), 1 по умолчанию		<10
Частота обновления навигационных данных			
GLONASS/GPS режим, Гц	5	10	5
ГЛОНАСС или GPS режимы, Гц	10	18	10
Точность определения скорости, м/с	0,05		
Точность определения курса, градусов	0,3		
Эксплуатационные ограничения			
Динамическое ускорение, g	<4		
Высота, м	50 000		
Скорость, м/с	500		
Интерфейс	USB V2.0 Full Speed 12 Мбит/с		
	UART		UART1 и UART2
	DDC-порт (для связи с GSM/3G-модулями)		DDC-порт (для связи с GSM/3G-модулями)/Slave I <sup>2</sup> C
	SPI-порт (конфигурируется)		
Протокол	NMEA 0.183 version 4.0, UBX (binary), RTCM* 2.3		NMEA 0.183 version 4.10, UBX (binary), RTCM* 3.3
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+85		
Корпус	LLC-24		LGA-54
Габаритные размеры, мм	16×12,2×2,4		22×17×2,4

Примечание. \*RTCM – открытый формат, доступный для передачи поправок между любыми ГНСС-приемниками.

Как следует из таблицы 1, точность позиционирования модуля ZED-F9P в режиме RTK составляет 10 см, а у модуля NEO-M8 равна 2 м. На рис. 2 приведена зависимость точности определения курса с помощью модуля ZED-F9P от протяженности базовой линии.

Модуль ZED-F9P автоматически выбирает диапазоны принимаемых частот, чтобы обеспечить наибольшее количество видимых спутников (рис. 3). Чем больше спутников видит модуль, тем выше его производительность и тем меньше время сходимости с более

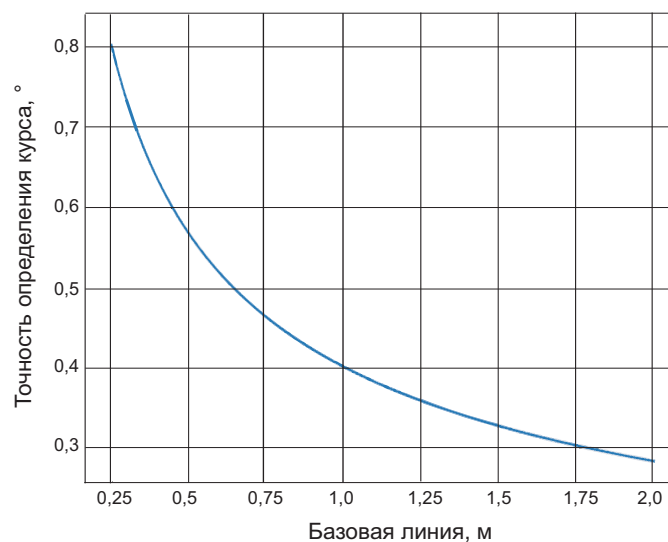


Рис. 2. Зависимость точности определения курса от протяженности базовой линии

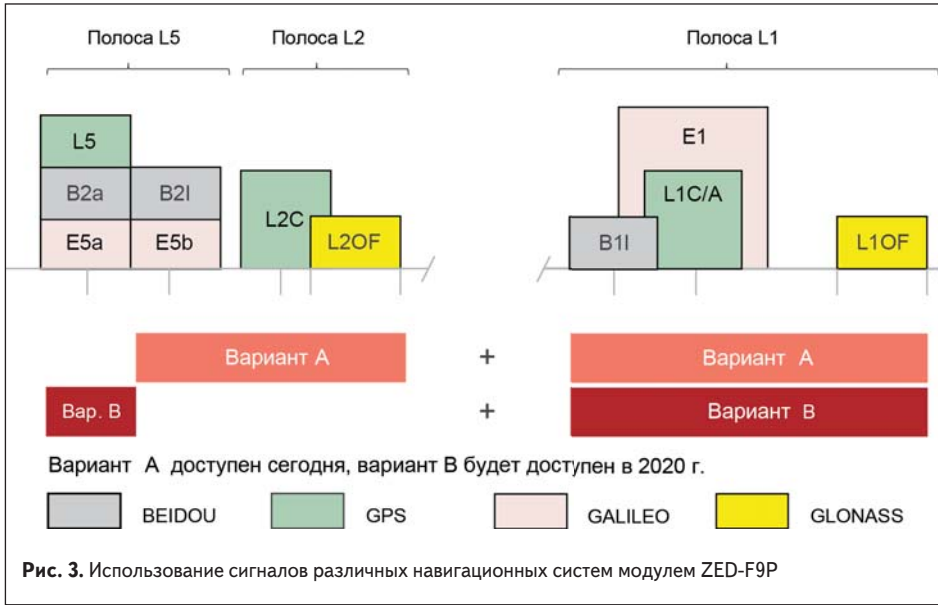


Таблица 2. Поддержка сигналов различных систем позиционирования модулем ZED-F9P

Параметр	GPS	GLONASS	GALILEO	BEIDOU
Частота навигационных сигналов	L1C/A (1575,42 МГц)	L1OF (1602 МГц + k×562,5 кГц, k = -7, ..., 5, 6)	E1-B/C (1575,42 МГц)	B1I (1561,098 МГц)
	L2C (1227,6 МГц)	L2OF (1246 МГц + k×437,5 кГц, k = -7, ..., 5, 6)	E5b (1207,14 Гц)	B2I (1207,14 МГц)

высокой частотой фиксации RTK. Например, при приеме сигналов одновременно всех четырех систем навигации время сходимости не превышает 10 с, а при работе только с сигналами GPS – 30 с. В таблице 2 приведены значение частот различных систем спутниковой навигации, которые принимает модуль ZED-F9P.

Для уверенного определения координат в точке приема особенно важно максимизировать количество сигналов от различных спутников в городских районах с плотной застройкой. На рис. 4 приведены зависимости глобальной видимости спутников в типичных городских условиях в различные годы.

Как следует из рис. 3 и 4, платформа u-blox F9 позволяет получить необходимую на данный момент видимость спутников даже в городских условиях.

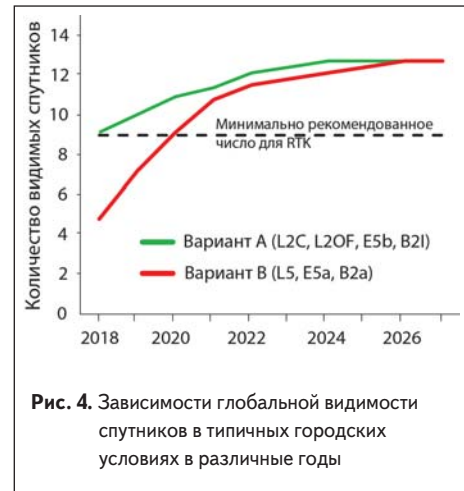
Модуль обеспечивает простую интеграцию RTK:

- содержит интегрированный RTK;

- не требуется установка стороннего ПО на хост;
- на хосте не требуются наличие вычислительных ресурсов и дополнительной памяти;
- не требуется лицензионный сбор для работы хоста.

Функция «Перемещаемая база» позволяет определять курс и ориентацию движущегося объекта. Установив два приемника на подвижном объекте по оси X (рис. 5), можно получить данные о направлении движения и крене. При установке трех приемников можно получить полную информацию о курсе, крене и наклоне. Зависимость точности определения курса от протяженности базы приведена на рис. 2.

При перемещении подвижной базовой станции модуль обеспечивает определение точного взаимного положения между ровером и базой. Это позволяет, например, БПЛА взлететь и вернуться на мобильную платформу или использовать функцию «следуй за мной» (рис. 6).



Другим примером определения точного относительного положения может служить контроль дорожного движения (рис. 7) с помощью базовой станции, установленной стационарно, и двух модулей, размещенных на автомобиле.

Компания u-blox провела серию испытаний модуля ZED-F9P в г. Тампере (Финляндия) и его пригородах [5].

На рис. 8 показан результат определения местоположения на открытой местности (фрагмент фотографии этой местности в пригороде Тампере приведен на рис. 9) при использовании трех различных приемников:

- ZED-F9P;
- NEO-M8P;
- Truth system.



Рис. 6. Использование модуля ZED-F9P для определения взаимного местоположения БПЛА и подвижной базы, установленной на автомобиле



Точность определения координат на открытой местности у этих приемников практически одинакова, и различий в положении трасс на карте не видно (рис. 8). Голубым цветом обозначена трасса, полученная с помощью ZED-F9P, а трасса, сформированная двумя другими приемниками, – синим. На рис. 9 видно, что рядом с дорогой есть только ряд деревьев с одной стороны и отсутствует высотная застройка. Испытания проводились с использованием местной базовой станции с относительно короткой базовой линией (<1 км).

При аналогичных испытаниях в г. Тампере в районе с низкоэтажной застройкой при длине базовой линии 20 км получены аналогичные результаты на плоскости. А ошибки определения высоты оказались различными. На рис. 10 приведены зависимости погрешности определения высоты для приемников NEO-M8P (одна полоса приема RTK) и ZED-F9P (несколько полос приема RTK).

Как следует из рис. 10, погрешность определения высоты однополосным приемником NEO-M8P может достигать 9 м, в то время как у многополосного приемника ZED-F9P она не превышает 1 м. Мы видим, что снижения точности для ZED-F9P из-за блокировки сигналов спутников малы и относительно недолговечны. Когда ZED-F9P переходит в холостой режим (отсутствуют либо значительно ослаблены сигналы спутников), он быстро возвращается к максимальной точности определения высоты. Таким образом, многодиапазонный RTK превосходит однополосный RTK в сложных условиях приема как по точности определения высоты, так и по скорости сходимости результатов.

Доступность спутников и высокая точность позиционирования жизненно важны для многих приложений, чтобы обеспечить непрерывную работу и хорошую производительность системы позиционирования. Модуль ZED-F9P предусматривает высокую доступность, малое время сходимости (менее 10 с) и быструю повторную сходимость.

В [5] приведены результаты испытаний точности позиционирования в динамическом режиме при размещении двух одинаковых приемников на борту автомобиля. Один из приемников являлся базой, а второй – ровером. Оба приемника были подключены к патч-антеннам ANN-MB, базовая длина могла изменяться в пределах 0–1 м. Испытания проводились в пригородах Тампере.

В первом тесте две антенны были разнесены на расстояние 1 м. Оба приемника работали в режиме GPS + GLONASS. Хотя ZED-F9P может одновременно поддерживать работу со всеми системами глобального позиционирования, эти две системы были выбраны для корректного сравнения параметров модулей ZED-F9P и NEO-M8P.

Базовая станция ZED-F9P работала в режиме RTK с использованием внешних поправок RTCM. Это обеспечило точность определения координат ровером 10 см, в то время как при использовании модуля NEO-M8P точность определения составила 2,47 м.

Точность определялась путем сравнения с результатами опорной системы позициониро-

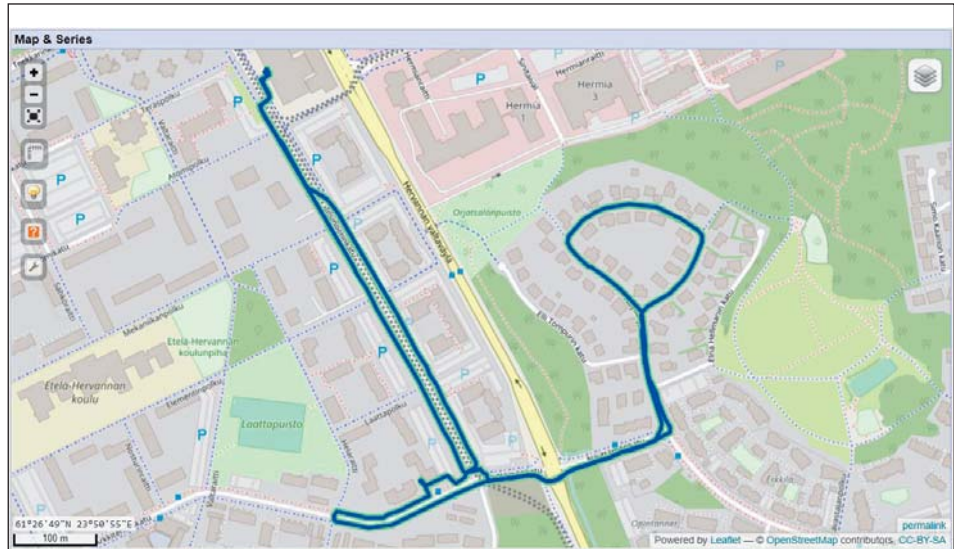


Рис. 8. Результат определения местоположения различными навигационными приемниками



Рис. 9. Фрагмент фотографии местности сверху

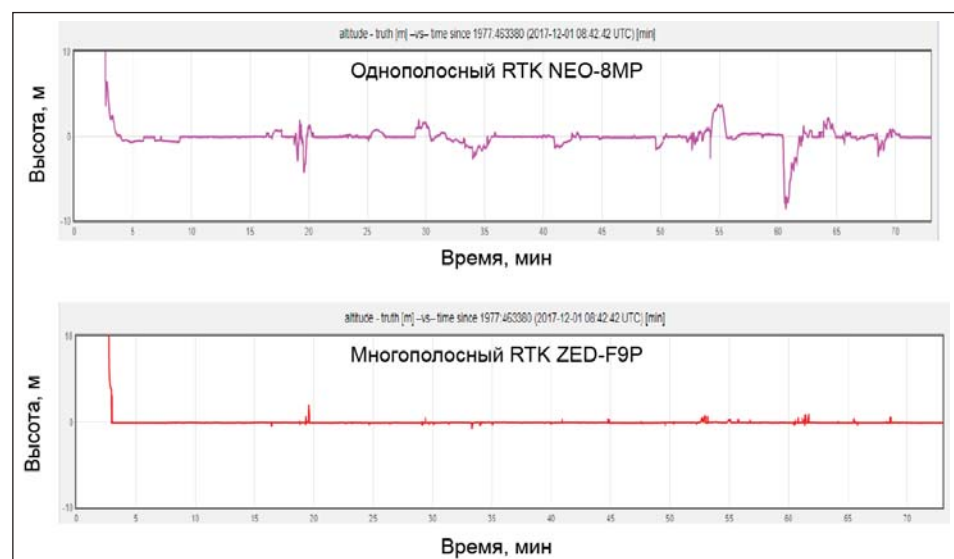


Рис. 10. Зависимости погрешностей определения высоты приемниками NEO-M8P и ZED-F9P

вания с пост-обработкой Arplanix, использующей приемник GNSS и датчики IMU (Inertial Measurement Unit – инерционное измерительное устройство). Для приема была применена геодезическая антенна Trimble LV59.

Потребность в масштабируемой высокоточной технологии быстро растет, о чем свидетельствует, например, автомобилестроение, в котором все шире используются технологии следующего поколения HUD (Head-Up Display — приборная панель на ветровом стекле) и V2X (V2C, V2D, V2G, V2P, V2V и V2I, DSRC, Cellular и др.). Еще большая потребность в данной технологии существует в робототехнике для таких приложений, как БПЛА, беспилотный транспорт, газонокосилки-роботы, и для многих других. Однако из-за сложности реализации, производительности и ограничений по стоимости существующие высокоточные решения не могут удовлетворить требованиям этих рынков.

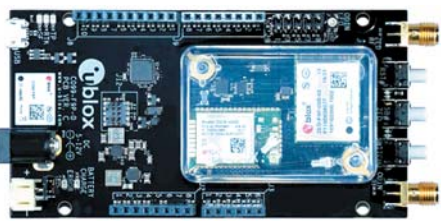


Рис. 11. Внешний вид отладочной платы C099-F9P

Применение модулей u-blox ZED-F9 позволяет реализовывать эти задачи. Модули могут использоваться в коммерческих БПЛА, робототехнике, беспилотной навигации автомобилей и тяжелых машин (сельскохозяйственные машины для точного земледелия, карьерные самосвалы и др.), промышленной навигации и отслеживании транспортных средств, для точного определения курса (спутниковые антенны, стрелы подъемных кранов и др.).

Например, комплексные технологии производства сельскохозяйственной продукции, получившие название «точное земледелие» (Precision Farming), которые стали активно развиваться за рубежом еще в конце 1990-х годов, признаны мировой сельскохозяйственной наукой как весьма эффективные передовые технологии, переводящие агробизнес на более высокий качественный уровень. Эти технологии являются инструментом, обеспечивающим решение трех основных задач, обуславливающих успех в условиях современного рынка, — наличие своевременной объективной информации, способность принять правильные управляющие решения и возможность реализовать эти решения на практике.

Использовать космические навигационные системы можно после установки на сельскохозяйственную технику приемника, постоянно получающего сигналы о местоположении навигационных спутников и расстояниях до них. На базе GPS-приемников разработаны системы параллельного вождения и автопилоты для управления движением тракторов и комбайнов.

При параллельном вождении прибор рассчитывает каждый следующий проход по полю так, чтобы он был параллелен предыдущему. С помощью такого вождения можно делать параллельные прямые и кривые, а также круговые и спиральные ряды. Если на поле есть препятствие (например, островок с деревьями), то прибор приостановит параллельное вождение и объедет его, а затем продолжит делать ряд. Можно усложнить задачу, задав зону разворота по краям полей. Тогда прибор рассчитает поворот и будет ориентировать, когда и как поворачивать. При установке такой системы на трактор механизатор наблюдает за показаниями прибора внутри кабины и следит только за тем, чтобы на поле не встречались камни и другие крупные препятствия.

Основная сложность во внедрении системы навигации состоит в потребности обучения механизаторов. С другой стороны, система параллельного вождения — удобная вещь. Если система параллельного вождения предполагает активное участие механизатора в управлении машиной, то автопилот позволяет автоматизировать процесс управления. Автопилоты бывают двух уровней: полностью автоматическая система, когда вмешательство механизатора не требуется, и система вспомогательного управления (подруливающее устройство). При работе с подруливающим устройством механизатору нужно следить за препятствиями на пути и брать управление на себя в конце ряда, когда нужно развернуться.

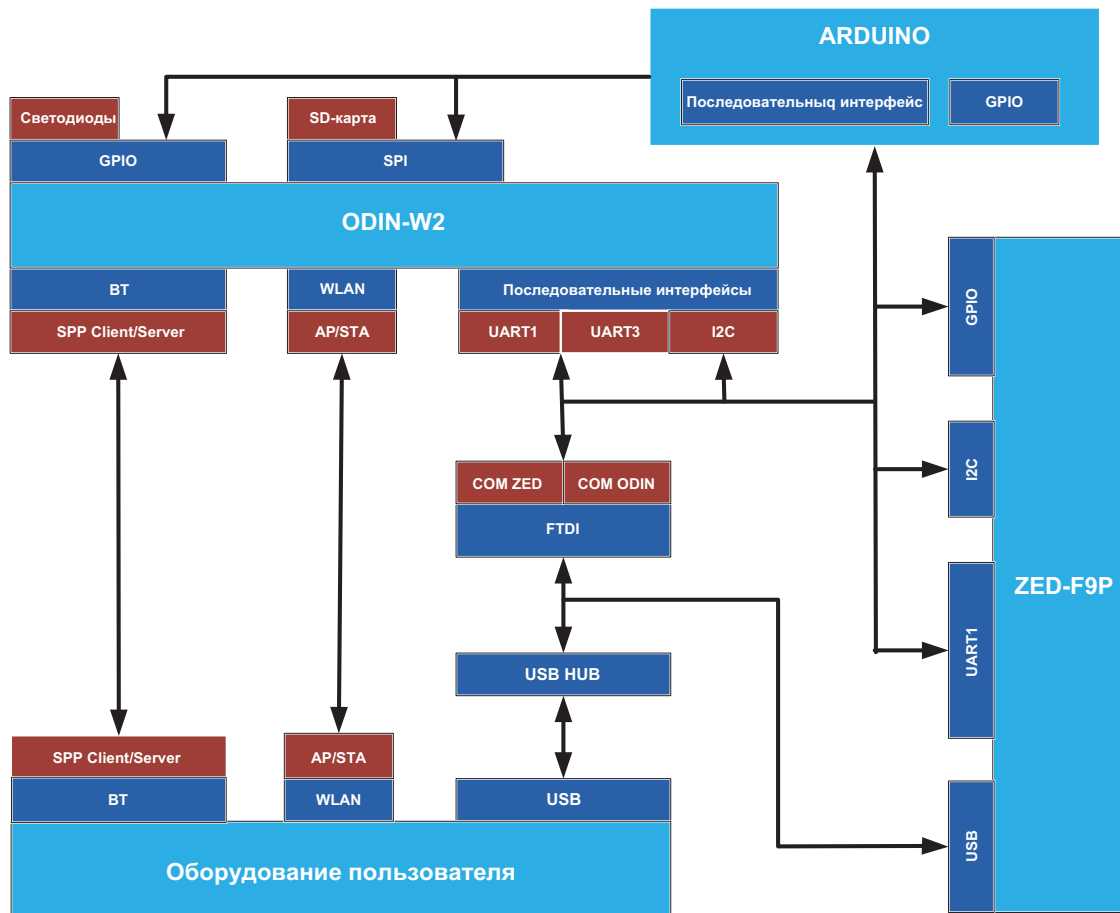


Рис. 12. Структура отладочной платы C099-F9P

Такая система управления позволяет сохранять в памяти координаты рядов и при необходимости повторить проход по ним, что особенно актуально при повторных обработках посевов и внесении удобрений после их всходов. Для подобных задач приемники с точностью позиционирования 1–2 м применять нельзя. Требуется точность позиционирования порядка нескольких сантиметров. А именно такой точностью и обладают модули ZED-F9P.

При решении геодезических задач модули серии ZED-F9 позволяют значительно снизить стоимость оборудования, необходимого для геодезической съемки. Стоимость предлагаемого на рынке оборудования для этих целей может составлять от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч долларов. Применение модулей ZED-F9P позволяет снизить его стоимость до нескольких сотен долларов.

Кроме модуля ZED-F9P компания u-blox выпускает еще несколько модулей серии F9 [6]:

1. ZED-F9H — многочастотный модуль для угловых измерений [6]. Работает только в паре с ZED-F9P. Формирует данные о направлении движения (т. е. курс) с точностью до 0,3°.
2. ZED-F9R — многочастотный модуль с функцией счисления пути (Dead Reckoning).
3. ZED-F9K — аналогичен по параметрам модулю ZED-F9R, но предназначен для реализации очень больших проектов (от 50 тыс. шт.).

Для отладки приложений с использованием модуля ZED-F9P компания u-blox выпускает отладочную плату C099-F9P (рис. 11), которая содержит сам модуль ZED-F9P, интерфейс для подключения МК Arduino и модуль беспроводной связи ODIN-W2 [7].

Структура отладочной платы C099-F9P приведена на рис. 12. Автономный модуль ODIN-W2, расположенный на отладочной плате, поддерживает несколько стандартов беспроводной связи. Он разработан специально как шлюз для приложений Internet-of-Things [8]. Модуль включает встроенный стек Bluetooth, стек и драйверы Wi-Fi, IP-стек и приложение для беспроводной передачи данных с управлением процесса передачи с помощью AT-команд. Приемопередатчик модуля обеспечивает передачу и прием сигналов Bluetooth v4.0 (BR/EDR + Low Energy) и Wi-Fi в двух диапазонах — 2,4 и 5 ГГц. Модуль поддерживает топологию сетей «точка-точка» и «точка-многоточка» с возможностью параллельной работы соединений Bluetooth и Wi-Fi. Оригинальные режимы Wireless Multidrop и Extended Data Mode позволяют управлять множеством параллельных беспроводных соединений. Встроенный протокол Point-to-Point (PPP) помогает хост-контроллеру через интерфейс UART управлять беспроводными IP-подключениями. Дополнительные интерфейсы, такие как SPI, I<sup>2</sup>C, CAN и ADC могут быть использованы с помощью специальных программных библиотек Arm Mbed development tool. Модули ODIN-W2 предназначены для профессионального использования и рассчитаны на эксплуатацию в промышленном температурном диапазоне. Для модулей имеется обширный набор радиочастотных сертификатов, подтверждающих возможность их легальной эксплуатации на территории любых регионов по всему миру.

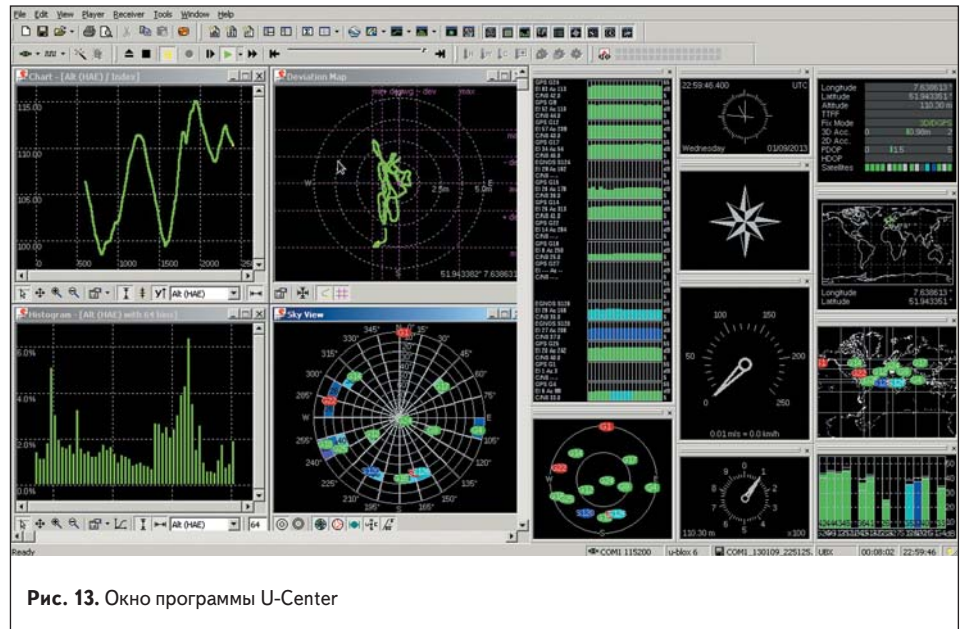


Рис. 13. Окно программы U-Center

Отладочная плата предназначена для оценки параметров модулей ZED-F9P в наиболее общих случаях применения. Набор функций отладочной платы предусматривает использование двух плат C099-F9P, работающих как Rover и Base. Платы поддерживают связь между собой с помощью Wi-Fi. Связь со смартфонами поддерживается с использованием беспроводного интерфейса Bluetooth. Для связи с ПК предусмотрен интерфейс USB.

Бесплатное программное обеспечение U-Center [9] для оценки параметров приемников u-blox ГНСС позволяет зарегистрировать данные и визуализировать их в режиме реального времени (рис. 13).

Программное обеспечение U-Center поддерживает все приемники u-blox и позволяет проводить сравнительный анализ производительности приемников GNSS, которые выводят сообщения NMEA.

ПО U-Center дает возможность визуализировать структурированные и графические данные в реальном времени:

- спутниковый обзор;
- обзор навигации;
- компас, спидометр, часы, высотомер;
- график просмотра любых двух параметров по выбору;
- функция записи и воспроизведения данных.

Прикладное программное обеспечение для ПК обеспечивает функция обновления прошивки для приемников u-blox, протокол RTCM и поддержку NTRIP, представление карт, поддержку сервера Google Earth, карту отклонений, текстовые консоли, статистику и многое другое.

U-Center предоставляет удобные средства для настройки GNSS приемников, возможность сохранить индивидуальные настройки конфигурации во флэш-памяти GNSS-приемника, восстановление заводских настроек при необходимости. Более подробно о ПО U-Center можно узнать в [9].

В заключение следует отметить, что встраиваемые модули серии F9 компании u-blox позволяют:

- обеспечить в режиме RTK точность позиционирования в несколько сантиметров при использовании одной из систем ГНСС GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU или их комбинации;
- реализовать многополосный режим RTK;
- обеспечить высокую производительность и быструю сходимость результатов RTK;
- создавать недорогие и эффективные системы управления беспилотными летательными аппаратами и транспортными средствами, роботами, сельскохозяйственными машинами и другими устройствами;
- программировать модули с помощью многофункционального бесплатного программного обеспечения.

Более подробную информацию о модулях ZED-F9P можно получить в компании «МикроЭМ» [10] — официальном дистрибьюторе компании u-blox. ■

## Литература

1. [www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9P\\_ProductSummary\\_%28UBX-17005151%29.pdf](http://www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9P_ProductSummary_%28UBX-17005151%29.pdf).
2. [www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9P\\_DataSheet\\_%28UBX-17051259%29.pdf](http://www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9P_DataSheet_%28UBX-17051259%29.pdf).
3. [www.u-blox.com/en/product/c099-f9p-application-board](http://www.u-blox.com/en/product/c099-f9p-application-board).
4. [www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-M8\\_ProductSummary\\_%28UBX-16000345%29.pdf](http://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-M8_ProductSummary_%28UBX-16000345%29.pdf).
5. Материалы компании u-blox.
6. [www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9H\\_ProductSummary\\_%28UBX-19026707%29.pdf](http://www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9H_ProductSummary_%28UBX-19026707%29.pdf).
7. [www.u-blox.com/sites/default/files/C099-F9P-AppBoard\\_ProductSummary\\_%28UBX-18022364%29.pdf](http://www.u-blox.com/sites/default/files/C099-F9P-AppBoard_ProductSummary_%28UBX-18022364%29.pdf).
8. [www.u-blox.com/sites/default/files/C099-F9P-AppBoard-ODIN-W2-CSW\\_UserGuide\\_%28UBX-18055649%29.pdf](http://www.u-blox.com/sites/default/files/C099-F9P-AppBoard-ODIN-W2-CSW_UserGuide_%28UBX-18055649%29.pdf).
9. [www.u-blox.com/sites/default/files/u-center-Userguide\\_%28UBX-13005250%29.pdf](http://www.u-blox.com/sites/default/files/u-center-Userguide_%28UBX-13005250%29.pdf).
10. <https://microem.ru/kontakt/>.