

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования**

«Воронежский государственный технический университет»

**С. М. Федоров, М. А. Сиваш,
А. В. Володько, О. В. Бойко**

РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

Лабораторный практикум

Воронеж 2019

УДК 621.396.969.3
ББК 32.95
P154

Рецензенты:

*кафедра основ радиотехники и электроники
Воронежского института ФСИН России
(начальник кафедры, канд. техн. наук, доцент Р. Н. Андреев);
А. А. Кулин, канд. экон. наук, АНОО ВО «Воронежский
экономико-правовой институт»*

Радионавигационные системы и комплексы:

P154 лабораторный практикум / С. М. Федоров, М. А. Сиваш, А. В. Володько, О. В. Бойко; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. – 89 с.

ISBN 978-5-7731-0000-0

Содержит материалы и задания для проведения лабораторных занятий по дисциплине «Радионавигационные системы и комплексы». Излагаются основные теоретические сведения о принципах радионавигации и особенностях функционирования современных спутниковых навигационных систем. Приводится описание используемых лабораторных установок, методические указания и рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Настоящее учебное издание соответствует программе курса «Системы подвижной радиосвязи». Предназначено для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» (специализация «Радиоэлектронные системы передачи информации»).

Ил. 76. Табл. 5. Библиогр.: 7 назв.

**УДК 621.396.969.3
ББК 32.95**

*Печатается по решению учебно-методического совета
Воронежского государственного технического университета*

ISBN 978-5-7731-0000-0 © С. М. Федоров, М. А. Сиваш, А. В. Володько, О. В. Бойко, 2019
© ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное издание соответствует программе курса «Системы подвижной радиосвязи» для специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» (специализация «Радиоэлектронные системы передачи информации»).

Лабораторный практикум содержит необходимый теоретический материал, позволяющий студенту успешно освоить изучаемый курс, приобрести исчерпывающие знания в области построения различных типов систем подвижной радиосвязи. Информация представлена в наглядном виде для ее наиболее быстрого усвоения и практического применения в дальнейшем.

Описываются лабораторно-практические занятия, проводимые с применением узкопрофильного научного оборудования, разработанного специально для данной дисциплины (коммерческая платформа программно-определяемого радио RTL-SDR), а также достаточно широкого набора прикладного программного обеспечения, например, математического пакета MathLab, анализатора систем сотовой связи GSM-900 и GSM-1800 RFDSP GSM Scanner, программы анализа и декодирования радиосигналов SDR Sharp, справочной программы анализа радиосигналов Artemis.

Авторы постарались выдержать сжатость и доходчивость изложения базовых теоретических сведений и лабораторных практикумов, необходимых для изучения дисциплины и получения студентами практических навыков построения и исследования систем подвижной радиосвязи. Иллюстрации, приведенные в лабораторном практикуме сделаны автором О.В. Бойко.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ДИАПАЗОНА GSM-900

1.1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Цели работы:

1) получение теоретических сведений о принципе работы стандарта системы сотовой связи GSM, его особенностях, топологии сети;

2) получение теоретических сведений и проверка на практике диапазона работы базовых станций системы сотовой связи GSM в г. Воронеж;

3) определение местонахождения обслуживаемых абонентов базовых станций на основе технических данных, получаемых от них.

При выполнении домашнего задания студенты должны изучить принцип работы стандарта системы сотовой связи GSM, его особенности, топологию сети, а также методику определения местоположения базовых станций на основе технических данных, получаемых от них.

В процессе выполнения лабораторного задания студенты получают практические знания методики определения местоположения базовых станций на основе специальных технических данных, которые БС постоянно передают на абонентские терминалы.

Указанные ранее операции производятся на базе лабораторного стенда RTL_SDR-R820T2, а также необходимого для данных задач пакетов прикладного программного обеспечения.

При выполнении работы студенты используют следующее оборудование:

– лабораторный стенд RTL_SDR-R820T2;

- персональный компьютер с ОС Windows версии 7, 8.1, или 10 (сборка 1703) с выходом в Интернет;
- программу анализа работы базовых станций и определения операторов сотовой связи в диапазоне GSM-900 «RF DSP GSM SCANNER RTL-SDR».

1.2. НЕОБХОДИМЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Система сотовой связи стандарта GSM

GSM (Global System for Mobile Communications) – это международный стандарт сотовой связи с разделением каналов по времени (Time Division Multiple Access – TDMA) и частоте (Frequency Division Multiple Access – FDMA). Был создан под эгидой Европейского института стандартизации электросвязи в конце 80-х годов двадцатого века.

GSM относится к сетям второго поколения (1G – аналоговая сотовая связь, 2G – цифровая сотовая связь, 3G – широкополосная цифровая сотовая связь).

Мобильные телефоны, которые поддерживающие стандарт GSM работают в 4 частотах: 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц. Они, в зависимости от количества диапазонов, подразделяются на классы и вариацию частот (определяются по месту использования):

1) однодиапазонные – мобильный телефон может работать только в одной полосе частот. В настоящее время не производятся, но в некоторых сотовых телефонах существует возможность ручного выбора определённого диапазона частот.

2) двухдиапазонные (Dual Band) – для Европы, Азии, Африки, Австралии используются частоты 900 и 1800 МГц, для США и Канады – 850 и 1900 МГц.

3) трёхдиапазонные (Tri Band) – для Европы, Азии, Африки, Австралии частоты – 900, 1800, 1900 МГц; для США и Канады – 850, 1800, 1900 МГц.

4) четырехдиапазонные (Quad Band) – поддерживают все четыре частотных диапазона: 850, 900, 1800, 1900 МГц.

В стандарте GSM применяется GMSK-модуляция с величиной нормированной полосы БТ – 0.3 (Bandwidth-Time или Ширина полосы по уровню -3 дБ – Длительность бита сообщения). GSM является самым распространённым стандартом сотовой связи. В ассоциацию GSMA входят более 1200 сотовых операторов. Из России в GSMA входят: Megafon PSSC («Мегафон»); LLC Ekaterinburg 2000 («Мотив»); LLC T2 Mobile («Теле2»); PJSC Mobile TeleSystems («МТС»); Vimpelcom PJSC («Билайн»).

GSM обеспечивает поддержку:

- услуги передачи данных;
- передача голосовой информации;
- передача коротких сообщений (SMS);
- передача факса.

GSM может предоставить следующие дополнительные услуги:

- определение номера или ограничение такого действия;
- переадресация вызова на другой номер;
- ожидание и удержание вызовов;
- конференц-связь;
- запрет на определённые пользователем услуги;
- голосовая почта и др.

Основные преимущества GSM:

- меньшие, по сравнению с аналоговыми стандартами, размеры и вес мобильного телефона при большем времени автономной работы. Это достигается за счёт аппаратуры базовой станции, постоянно анализирующей уровень сигнала, который был принят от аппарата аabo-

нента и, если сигнал выше требуемого, на сотовый телефон автоматически подаётся команда для снижения излучаемой мощности;

- качество связи при достаточной плотности размещения базовых станций;

- емкость сети и возможность большого числа одновременных соединений;

- низкий уровень помех в данных частотных диапазонах;

- улучшенная защита от шпионажа и нелегального использования;

- эффективное кодирование речи;

- широкое распространение и большой ассортимент поддерживаемого оборудования;

- возможность роуминга без изменения номера телефона.

Недостатки стандарта GSM:

- искажение речи при цифровой обработке и передаче;

- связь возможна на расстоянии не более 120 км от ближайшей базовой станции, поэтому для покрытия большей площади необходимо большое количество передатчиков.

Стандарты GSM создаются и публикуются Европейским институтом телекоммуникационных стандартов. Документы обозначаются GSM «nn.nn» (где n – число), например, широко известен стандарт на GSM SIM-карточки GSM 11.11 (июль 1996).

GSM-900 – цифровой стандарт мобильной связи, работающий в диапазоне частот от 890 до 915 МГц (от телефона к базовой станции) и от 935 до 960 МГц (от базовой станции к телефону). Количество реальных каналов связи гораздо больше, чем указано выше в таблице, так как присутствует временное разделение каналов TDMA, что обеспечивает работу на одной частоте нескольких абонентов, но при этом с временным разделением.

Таблица 1

Диапазон 900/1800 МГц (используется в Европе, Азии)

Характеристики	GSM-900	GSM-1800
Частоты передачи MS и приёма BTS (uplink), МГц	890 – 915	1710 1785
Частоты приёма MS и передачи BTS (downlink), МГц	935 – 960	1805 – 1880
Дуплексный разнос частот приёма и передачи, МГц	45	95
Количество частотных каналов связи с шириной 1 канала связи в 200 кГц	124	374
Ширина канала связи, кГц	200	200

Таблица 2

Диапазон 850/1900 МГц (используется в США, Канаде, отдельных странах Латинской Америки и Африки)

Характеристики	GSM-850	GSM-1900
Частоты передачи MS и приёма BTS, МГц	824 – 849	1850 – 1910
Частоты приёма MS и передачи BTS, МГц	869 – 894	1930 – 1990
Дуплексный разнос частот приёма и передачи, МГц	45	80

В некоторых странах диапазон используемых GSM-900 частот был расширен до 880 – 915 МГц (телефон – базовая станция) и 925 – 960 МГц (базовая станция – телефон), благодаря чему максимальное количество каналов связи удалось увеличить на 50. Данная модификация технологии GSM была названа E-GSM.

GSM-1800 – цифровой стандарт мобильной связи, работающий в диапазоне частот от 1710 до 1880 МГц.

Особенности:

- максимальная излучаемая мощность мобильных телефонов стандарта GSM-1800 – 1 Вт против 2 Вт в GSM-900, что благоприятно сказывается на времени автономной.

- высокая ёмкость сети (играет важную роль в современных городах).

- возможность использования мобильных телефонов, которые работают одновременно в стандартах GSM-900 и GSM-1800. Такой телефон функционирует в сети GSM-900, но, если попадает в зону покрытия GSM-1800 автоматически на нее переключается, что позволяет оператору связи более рационально использовать частотный потенциал, а абонентам – экономить денежные средства за счет более дешевых тарифов. Однако использование аппарата в двух сетях возможно либо тогда, когда эти сети принадлежат одной компании, либо между компаниями, работающими в разных диапазонах, заключено соглашение о роуминге.

Сеть GSM 900-1800 – это единая сеть, с общей структурой, логикой и мониторингом, находясь в которой мобильный телефон никуда не переключается. При этом зона охвата каждой базовой станции значительно меньше, чем в стандартах GSM-900, AMPS/DAMPS-800, NMT-450, что приводит к необходимости строить большее число базовых станций, так как с ростом частоты излучения ухудшается проникающая способность радиоволн при плотной городской застройке.

Максимальное расстояние связи для системы GSM ограничено задержкой сигнала и максимально равно 35 км, однако при применении режима extended cell способно увеличиться до 75 км, но применение данного режима возможно только в пустынях, горах и морях.

В состав GSM входят три подсистемы (рис. 1):

- 1) подсистема базовых станций (ПБС или BSS);
- 2) подсистема коммутации (NSS), в состав которой входит: центр коммутации, домашний реестр местоположения, гостевой реестр местоположения, реестр идентификации оборудования;
- 3) подсистема технического обслуживания (OMC).

Отдельным классом оборудования для работы в GSM являются подвижные станции (MS) или мобильные телефоны.

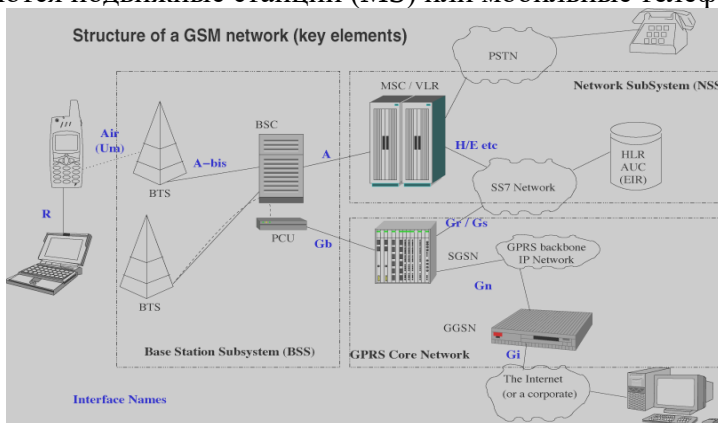


Рис. 1. Структура системы сотовой связи GSM

Подсистема базовых станций (ПБС)

Подсистема Базовых станций включает в себя базовые станции (БС или BTS) и контроллеры базовых станций (BSC). Область, покрытая сетью GSM, разбивается на шестиугольники, которые получили название – соты или ячейки. Диаметр каждой из них может быть разным и составлять от 0,4 км до 50 км, а максимальный теоретический радиус со-

ставляет 120 км, что обусловлено ограниченной возможностью системы синхронизации компенсировать время задержки сигнала. Каждая зона покрыта БС, которая расположена в центре, при этом соседние ячейки частично перекрывают друг друга, что обеспечивает возможность обслуживания абонента без разрывов связи, когда он попадает в зону действия соседней ячейки. На самом деле каждая БС покрывает площадь в виде круга, а не шестиугольника, который является лишь упрощенным вариантом представления зоны покрытия. У каждой БС есть шесть соседних, что обусловлено минимизацией стоимости, так как использование большего числа БС приводило бы к большему «перехлесту» зон покрытия и позволило бы избежать «мертвых зон», но это привело бы к увеличению расходов на дополнительные станции при достаточно незначительном преимуществе в качестве связи.

БС обеспечивает прием и передачу между сотовым телефоном и контроллером БС. Базовая станция является автономной и модульной, а антенны БС могут быть расположены на крышах зданий, вышках и т. д.

Контроллер базовых станций занимается контролем соединений между БС и подсистемой коммутации, а также очередностью соединений, скоростью передачи данных, сбором статистики, распределением радиоканалов, контролем разных радиоизмерений, назначением и управлением процедурой хэндовер для плавного переключения абонентов между БС.

Подсистема коммутации (NSS)

Подсистема коммутации состоит из следующих компонентов:

1. Центр коммутации – контролирует определенную территориальную зону с расположенными на ней базовыми станциями и контроллерами базовых станций. Устанавливает соединение между абонентами в сети GSM, обеспечивает связь GSM и ТфОП, а также с другими системами радиосвязи

и сетями рередачи данных, осуществляет функции маршрутизации и управления вызовами, передачи обслуживания мобильного телефона при перемещении абонента из одной ячейки в другую. После завершения вызова центр коммутации обрабатывает информацию по нему и передает ее в центр расчетов для того, чтобы сформировать счет за предоставленные услуги связи, а также собирает статистику. Центр коммутации постоянно следит за расположением сотового телефона, используя данные, которые получены из домашнего регистра и гостевого регистра абонента, что позволяет быстро найти и установить соединение с сотовым телефоном в случае вызова.

2. Домашний регистр местоположения - содержит базу данных абонентов, которые приписаны к нему. В домашнем регистре содержится важная информация об абоненте, каждый из которых приписан к своему домашнему регистру:

- 1) предоставляемые услуги;
- 2) информация о состоянии абонента (важна при совершении вызовов);
- 3) международный Идентификатор Мобильного Абонента (IMSI).

3. Гостевой регистр местоположения – временная база абонентов, которая обеспечивает мониторинг сотового телефона при перемещении абонента из одной зоны в другую, и при этом хранит базу данных о перемещающихся абонентах, находящихся в домашнем регионе, и об абонентах из других сетей (находящихся в роуминге). Данные об абоненте автоматически удаляются из гостевого регистра, если абонент переместился в другую зону, что позволяет сократить число запросов на домашний регистр абонента, уменьшая тем самым время обслуживания вызова.

4. Регистр идентификации оборудования – содержит данные, которые необходимы для определения сотовых телефонов по IMEI. Этот регистр формирует три списка сотовых телефонов: белый (допущен к использованию), серый (возникают некоторые проблемы с идентификацией устрой-

ства), черный (запрещен к использованию). У российских операторов и операторов из стран СНГ используются исключительно белые списки, что не позволяет решить проблему кражи сотовых телефонов.

5. Центр аутентификации – в этом центре происходит определение абонента, а точнее SIM-карта. Доступ в сеть разрешается только если SIM-карта проходила процедуру проверки подлинности, в процессе которой с центра аутентификации на телефон приходит случайное число (RAND), которое в телефоне и центре аутентификации шифруется с использованием специального алгоритма ключом K_i для данной SIM-карты; после чего с мобильного телефона и центра аутентификации на центр коммутации возвращаются «подписанные отклики» (SRES), которые являются результатом шифрования. На центре коммутации отклики сравниваются, и при их совпадении аутентификация считается успешной.

6. Подсистема ОМС – связана со всеми частями сети и занимается контролем качества работы, управляет работой всей сети, занимается обработкой аварийных сигналов, проверяет состояние сети и возможность совершения вызова, обновляет ПО на элементах сети и выполняет ряд других важных функций.

Прикладное программное обеспечение для анализа радиосигналов системы сотовой связи GSM и качества покрытия абонента базовыми станциями

RF DSP GSM SCANNER RTL-SDR – сканер сетей GSM выполняет обнаружение нисходящих каналов и отображает информацию об уровне сигнала, а также определяет принадлежность канала одному из операторов большой тройки: «МТС», «ВымпелКом» («Билайн») или «Мегафон». Сканер позволяет сохранить базу идентификаторов БС MCC, MNC, LAC и CI для всех анализируемых каналов. Его также можно использовать для того, чтобы оценить уровень и качество

сигнала разных мобильных операторов, оценить покрытие, что необходимо для принятия решения об установке усилителей сигналов связи и установки их параметров (в образовательных целях и др.). Сканер работает под ОС Windows не ниже 7 версии на базе цифрового тюнера RTL-SDR. Для работы сканера требуется установка драйверов RTL-SDR, если они еще не были установлены, это удобно сделать с помощью программы «Zadig».

Параметрами RTL-SDR и определяются основные характеристики сканера. Безусловно GSM-сканер не является заменой нормального измерительного оборудования. Сканер распространяется бесплатно, без каких-либо ограничений на использование.

Текущая версия поддерживает диапазон GSM-900, но не поддерживает GSM-1800. Это определяется тем, что рабочая частота RTL-SDR с тюнером R820T ограничена значением 1760 МГц. Есть надежда, что применение экспериментального драйвера RTL-SDR позволит реализовать работу хотя бы в части диапазона 1800 МГц. Ниже представлен вид окна программы сканера (рис. 2):

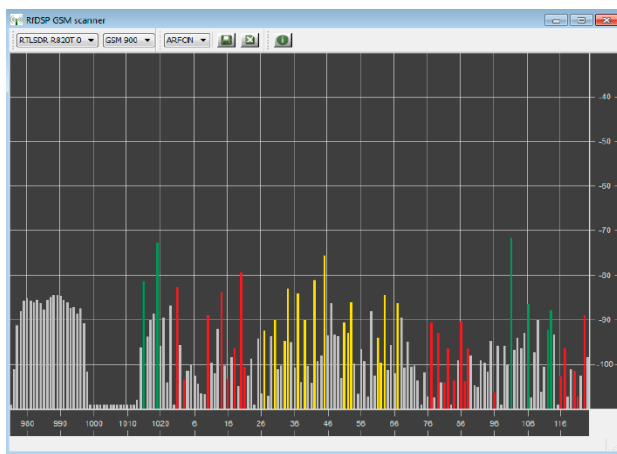


Рис. 2. Внешний вид программы сканера

По горизонтальной оси откладывается номер канала GSM в виде абсолютного радиочастотного номера канала (ARFCN) или МГц, по вертикальной – уровень сигнала в дБ. Если идентификаторы БС были успешно декодированы, и они соответствуют идентификаторам большой «тройки» операторов связи, линии окрашиваются в соответствующие оператору цвета.

Выпадающие списки в верхней части экрана позволяют выбирать SDR-приемник, если их подключено несколько, диапазон работы GSM-900 или GSM-1800 и единицы измерения по горизонтальной оси ARFCN или МГц. Кнопки позволяют сохранить отчет о работе сканера в виде списка декодированных базовых станций, очистить результаты декодирования БС и получить информацию о программе.

В процессе работы программа производит сканирование рабочего диапазона частот с шагом 2.0 МГц, что соответствует десяти каналам GSM, и производит оцифровывание сигнала с частотой дискретизации 2.4 МГц. Процесс сканирования состоит из быстрого прохода всего диапазона, что необходимо для изменения уровня мощности сигнала, а затем медленного прохода, который нужен для декодирования идентификаторов БС. Шаг декодирования происходит сразу после прохода всего диапазона для измерения мощности сигнала. В стандарте GSM-900 уровень сигнала обновляется с временным интервалом около 2 с, а полный проход декодирования занимает порядка 60 с.

Из-за плохого качества сигнала, полученного с RTL-SDR, вероятность правильного декодирования широковещательного управляющего канала БС (BCCH) и системной информации (SI) оказывается невысокой. Флуктуация уровня сигнала в результате многолучевого распространения может снижать вероятность декодирования системной информации, поэтому для получения идентификаторов базовых станций необходимо накапливать сканером информацию на протяжении порядка 10 мин, но даже в данном случае не все каналы

обеспечивают в данном месте достаточный уровень и качество сигнала для декодирования даже идеальным приемником. Кроме этого, не все каналы GSM используются для работы по стандарту GSM, так каналы 975 – 1000 МГц «Мегафон» использует для работы по стандарту UMTS.

В процессе работы сканер сохраняет системную информацию о новых декодированных каналах в общий массив информации по каналам, при этом информация о декодированных ранее каналах не стирается при не декодировании системой информации на данном шаге, и остается в массиве. Для того, чтобы очистить эту информацию необходимо нажать кнопку очистки результатов декодирования базовых станций (БС).

При нажатии на кнопку сохранения отчета, результаты сохраняются в текстовый файл с названием, из названия программы, даты и времени сохранения данных. Ниже для примера приведена часть файла отчета (рис. 3):

ARFCN	Mhz	dBm	MCC	MNC	LAC	CI	Type	BCCH
.....								
14	937.8	-96.1	250	1	435	15042	TCH only	20
15	938.0	-99.0	---	---	-----	-----		
16	938.2	-106.9	250	1	435	15042	TCH only	20
17	938.4	-97.6	---	---	-----	-----		
18	938.6	-109.0	250	1	435	1432	TCH only	1
19	938.8	-107.0	---	---	-----	-----		
20	939.0	-82.4	250	1	435	15042	BCCH+TCH	
21	939.2	-105.6	250	1	435	16062	TCH only	86

Рис. 3. Файл отчета сканера GSM SCANNER

MCC (Mobile Country Code) – код, определяющий страну, в которой находится оператор мобильной связи. Например, для России он равен 250, США – 310, для Венгрии – 216, для Китая – 460, для Украины – 255, для Белоруссии – 257.

MNC (Mobile Network Code) – код, присваиваемый оператору мобильной связи. Уникален для каждого оператора в конкретной стране.

LAC (Location Area Code) – код локальной зоны – объединение некоторых базовых станций, обслуживаемых одним контроллером базовых станций (BSC). LAC может быть представлен в десятиричном и шестнадцатеричном виде.

CellID (CID) – «идентификатор соты» – тот самый сектор базовой станции. Этот параметр также может быть представлен в десятиричном и шестнадцатеричном виде.

Для работы под Windows XP собрана специальная версия программы, работает она в несколько раз медленнее стандартной версии.

Для начала работы с программой запустите исполняемый файл «gsmscan.exe». Вместе с запуском (при успешном обнаружении, правильно подключенного к ПК через порт USB 2.0 тюнера RTL-SDR) автоматически начнется процесс сканирования.

Анализ Решения Государственной комиссии
по радиочастотам при Минкомсвязи РФ от 1 июля 2016
г. № 16-37-03 «Об использовании радиоэлектронными
средствами сухопутной подвижной службы полос
радиочастот 890 – 915 МГц, 935 – 960 МГц,
1710 – 1785 МГц и 1805 – 1880 МГц»

Государственная комиссия по радиочастотам заслушала сообщение Федеральной службы по надзору в сфере связи (Роскомнадзор) об использовании средствами подвижной связи частот: 890 – 915 МГц, 935 – 960 МГц, 1710 – 1785 МГц и 1805 – 1880 МГц; было отмечено, что в настоящее время использование GSM совместимых устройств в полосах радиочастот 890 – 915 МГц, 935 – 960 МГц, 1710 – 1785 МГц и 1805 – 1880 МГц осуществляется на основании отдельных решений ГКРЧ, выданных операторам связи. При этом все эти решения имеют разный срок использования частот (в том числе и не установленный), а также условия их использования.

Таблица 3

**Распределение полос радиочастот
на территории Российской Федерации**

Федеральный округ	Субъект	Оператор	Полосы используемых радиочастот, МГц
...	...	...	...
Центральный	Воронежская область	ПАО «ВымпелКом» («Билайн»)	895,8 904/940, 8 949
		ПАО «МегаФон»	904-905,4/949-950,4 906-911,4/951-956,4 912,6-914,6/957,6-959,6
		ПАО «МТС»	890-894,2/935-939,2 896,6-901/941,6-946 904-905/949-950 906,6-907/951,6-952 907,6-910,4/952,6-955,4

Также много отдельных решений государственной комиссии по радиочастотам затрудняет процедуру контроля выполнения условий использования частот и приводит к трудностям в регулировании использования радиочастотного ресурса в полосах частот: 890 – 915 МГц, 935 – 960 МГц, 1710 – 1785 МГц и 1805 – 1880 МГц. Поэтому с целью унификации условий использования и контроля радиочастот для устройств, работающих в стандарте GSM ГКРЧ решила:

1. Частоты 890 – 915 МГц, 1710 – 1785 МГц и 1805 – 1880 МГц выделить операторам связи для применения в стандарте GSM в соответствии с приложениями № 1 и № 2 для субъектов Российской Федерации.

2. Использование выделенных в п. 1 частот должно осуществляться с исполнением всех законов РФ и выполнением условий:

- технические характеристики РЭС должны соответствовать техническим характеристикам, которые указаны в приложении № 3 к данному решению ГКРЧ;
- получение в установленном в Российской Федерации порядке разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов;
- выполнение условий по оказанию услуг связи, установленных решением ГКРЧ от 11 декабря 2013 г. № 13-22-01;
- используемые РЭС должны быть зарегистрированы в порядке, который установлен законодательством РФ.

3. Выделить гражданам РФ и российским юридическим лицам полосы частот 890 – 915 МГц, 935 – 960 МГц, 1710 – 1785 МГц и 1805 – 1880 МГц для разработки, производства и модернизации оборудования, совместимого с GSM при условии, что характеристики соответствуют основным техническим характеристикам (указаны в приложении № 3 решения).

4. Использование полос частот 890 – 915 МГц, 935 – 960 МГц, 1710 – 1785 МГц и 1805 – 1880 МГц для использования в системах стандартов UMTS, LTE и последующих их модификаций, в том числе при совместном использовании в соответствии с частотами, приведенными в приложениях № 1 и № 2 в тексте решения.

5. В соответствии с ранее принятыми решениями ГКРЧ установить, что доступный для оказания услуг связи радиочастотный спектр в полосах радиочастот 890 – 915 МГц, 935 – 960 МГц, 1710 – 1785 МГц и 1805 – 1880 МГц ограничивает возможное количество операторов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта GSM на территории Российской Федерации. При этом минимально необходимый ра-

диочастотный спектр для создания и развития сетей подвижной связи стандарта GSM на территории субъектов Российской Федерации с особым статусом составляет два участка по 4,8 МГц в полосах радиочастот 890 – 915 МГц и 935 – 960 МГц или два участка по 10 МГц в полосах радиочастот 1710 – 1785 МГц и 1805 – 1880 МГц.

6. Данное решение ГКРЧ вступает в силу с 01.08.2016 года; срок действия данного решения 10 лет со дня его принятия (по 1 августа 2026 года).

1.3. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ И УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

Необходимо изучить стандарт системы сотовой связи GSM:

- общие сведения;
- предоставляемые услуги;
- преимущества и недостатки;
- стандарты и радиointерфейс;
- структура GSM.

«Решение государственной комиссии по радиочастотам при МинКомСвязи России от 1 июля 2016 г. № 16-37-03 «Об использовании радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной службы полос радиочастот 890-915 МГц, 935-960 МГц, 1710-1785 МГц и 1805-1880 МГц», чтобы получить сведения об используемых диапазонах частот в системе сотовой связи GSM на территории Российской Федерации (в особенности по Воронежской области).

Для выполнения домашнего задания в первую очередь проработайте теоретический материал по структуре системы сотовой связи стандарта GSM и его радиointерфейсу. Обратите особое внимание на взаимодействие всех составляющих структуры GSM.

1.4. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ И УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

1. Проверить комплектность лабораторного стенда RTL_SDR-R820T2:

- SDR-ППУ RTL820T2 с интерфейсом подключения к ПК USB 2.0 и разъемом подключения антенны MCX;

- переходник для подключения антенны MCX М – SMA F;

- антенна «всерный вибратор» с SMA разъемом;

- провод – удлинитель USB 2.0 М – USB 2.0 F.

2. Подключить вышеуказанные части лабораторного стенда в следующем порядке:

- подключить антенну с SMA разъемом в гнездо переходника SMA F;

- подключить провод от переходника с разъемом MCX М в гнездо MCX F SDR-ППУ RTL820T2;

- соединить гнездо от удлинителя USB 2.0 F с разъемом USB 2.0 М от SDR-ППУ RTL820T2;

- подключить в гнездо USB 2.0 F ПК собранную лабораторную установку с отключенным интернетом.

3. Проверить подключение лабораторного стенда к ПК следующим образом:

- индикатор питания SDR-ППУ RTL820T2 должен гореть ярким белым светом;

- в панели задач Windows 10 нажать на пиктограмму поиска, расположенную в левом нижнем углу экрана;

- ввести в строку поиска «Диспетчер устройств», после чего должен отобразиться следующий результат (рис. 4):

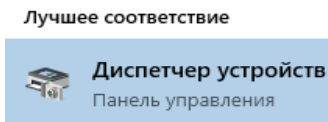


Рис. 4. Результат поиска по запросу
«Диспетчер устройств»

– нажать на результат поиска.

Внимание! В случае неполадок с поиском, что иногда бывает в Windows 10, необходимо нажать комбинацию кнопок Win+R и в появившемся меню «Выполнить» набрать compmgmt.msc и нажать Enter, появится окно «Управление компьютером», затем нажимаем на «Диспетчер устройств» (рис. 5):

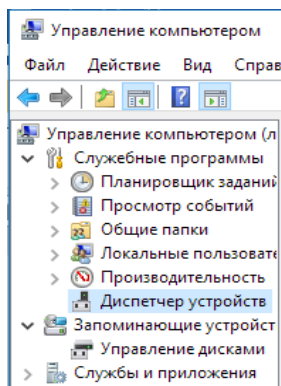


Рис. 5. Внешний вид окна управления компьютером

Данное окно выводит ассортимент всего подключенного к ПК оборудования и различных устройств, наш лабораторный стенд должен отображаться в пункте «Другие устройства» как «Bulk-In, Interface» (рис. 6) наличие уведомления о некорректной установке драйверов до вышеописанных действий является нормальным и будем рассмотрено в следующем пункте.

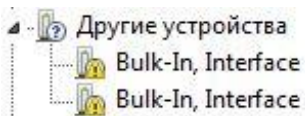


Рис. 6. Пункт «Другие устройства»

4. Произвести установку драйвера на ОС Windows версии 7–10 для лабораторного стенда RTL_SDR-R820T2:

– отключить на время установки драйвера все экраны, а также брандмауэр установленного на ПК антивирусного программного обеспечения, в том числе отключить «Защитник Windows» на ОС Windows 10 (данные действия требуются для успешной установки драйвера, так как при игнорировании данного пункта возможны проблемы с цифровой подписью драйвера или ложное срабатывание антивирусного ПО);

– запустить программу установки драйвера «Zadig.exe» из каталога LR-RNSiK/driver, кликая по файлу правой кнопкой мыши и выбирая пункт «Запуск от имени администратора» (рис. 7):

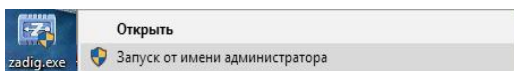


Рис. 7. Пункт «Запуск от имени администратора»

– после запуска окно программы установки драйвера для лабораторного стенда (в разных ОС Windows стартовое окно может выглядеть по-разному) (рис. 8):

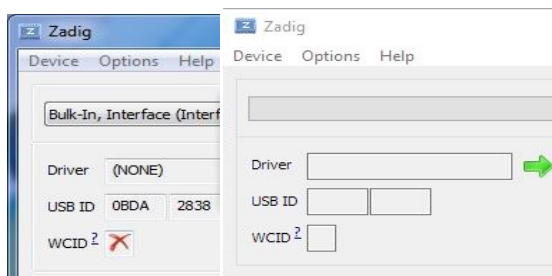


Рис. 8. Окно программы установки драйвера

– для достоверного обнаружения программой установки SDR-ППУ RTL820T2 перейти во вкладку «Options», где выбрать List all devices (рис. 9):

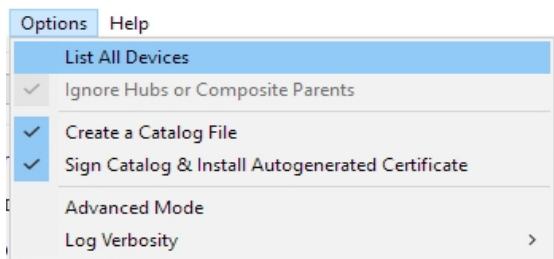


Рис. 9. Вкладка «Options»

– после поиска всех доступных программе подключенных устройств, необходимо выбрать в каталоге SDR-ПИУ RTL820T2, именуемый в программе либо RTL2838UHIDIR, либо Bulk-In Interface (Interface 0) – оба варианта верны, но в Windows 10 и Windows 7 отображаются по-разному (рис. 10):

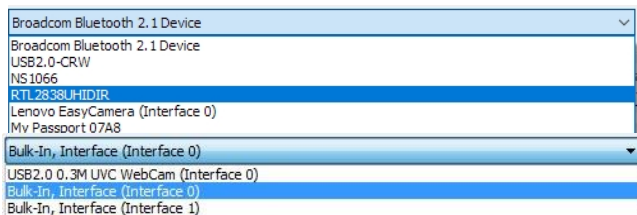


Рис. 10. Список доступных устройств для выбора

– после выбираем версию будущей установки драйвера – WinUSB v.6.1.7600.16385) (рис. 11):

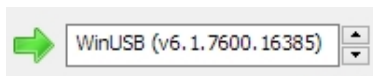


Рис. 11. Выбор версии драйвера

– нажать кнопку «Install Driver», тем самым запуская процесс установки драйвера устройства SDR-ПИУ RTL820T2. При появлении окна «Безопасность Windows» по-

ставить галочку напротив «Всегда доверять программному обеспечению» и нажать кнопку «Установить» (рис. 12):

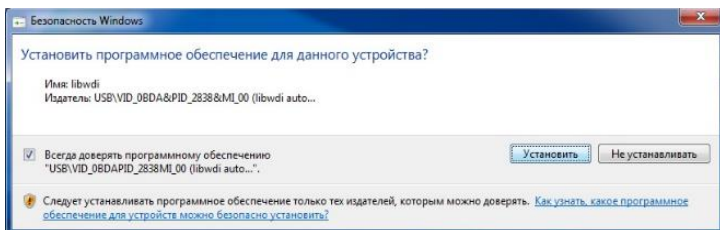


Рис. 12. Окно «Безопасность Windows»

– после успешной установки устройство будет добавлено в систему (рис. 13):

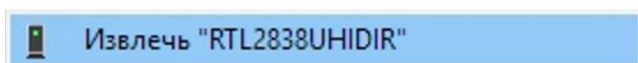


Рис. 13. Устройство было добавлено в систему

5. Вспомнить работу с программой RF DSP GSM SCANNER RTL-SDR для проверки диапазона частот работы базовых станций сотовых операторов согласно «Решению государственной комиссии по радиочастотам при Минкомсвязи России от 1 июля 2016 г. № 16-37-03 “Об использовании радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной службы полос радиочастот”», технических параметров базовых станций, а также анализа покрытия соты для обеспечения качественной связи между терминалами абонентов, далее необходимо:

– Запустить «gmscan.exe» из каталога LR-RNSiK/1_GSM-BSpos/gmscan, кликая по файлу правой кнопкой мыши и выбирая пункт «Запуск от имени администратора».

– После запуска программы появится основное рабочее окно сканирования и обнаружения принадлежности базовых станций к сотовым операторам. Процесс сканирования в реальном времени запускается автоматически (рис. 14):

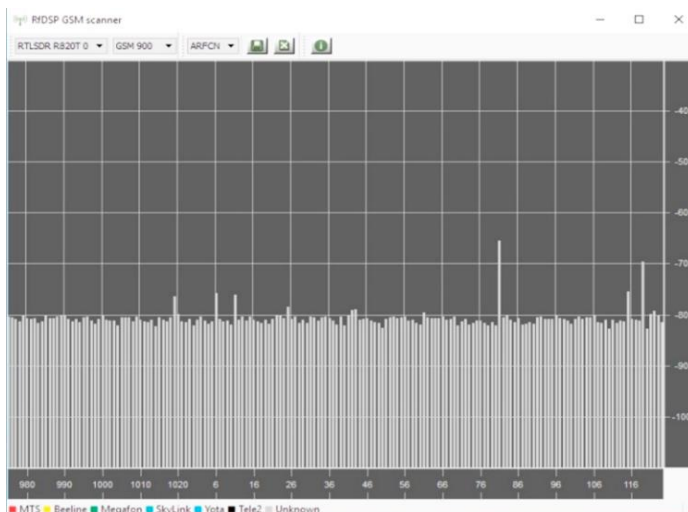


Рис. 14. Основное рабочее окно

– Обязательно не забудьте переключиться из канального режима обзора работы базовых станций в частотный (рис. 15):



Рис. 15. Переключение режима обзора работы базовых станций

– Процесс более-менее полного сканирования базовых станций и достоверного определения принадлежности их к операторам сотовой связи занимает около 5 минут. После 10 минут работы программы получаем наиболее достоверные результаты (рис. 16):

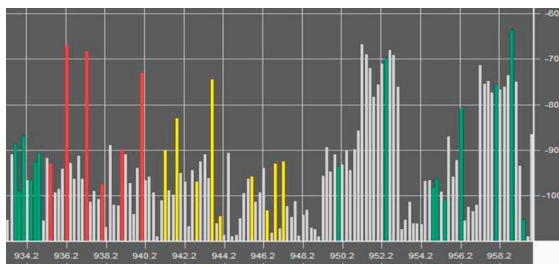


Рис. 16. Результат сканирования

В результате сканирования на рис. 16 отображены неопределенные БС и общеизвестные, принадлежащие операторам сотовой связи ПАО «Мегафон», ПАО «ВымпелКом» (Билайн), а также ПАО «МТС». Для примера, базовым станциям «Мегафон» соответствуют частоты: 933 – 935 МГц, 950 МГц, 952 МГц, 955 МГц и 958 – 959 МГц. В зависимости от его местонахождения каждого студента в процессе сканирования базовых станций, результаты будут разными.

– Теперь необходимо проанализировать качество связи абонентского терминала (в нашем случае его эмулирует RTL-SDR тюнер) с базовыми станциями операторов сотовой связи. Для этого нужно найти в окне сканера базовые станции с самым сильным сигналом от каждого оператора и вычислить общее количество БС от каждого оператора сотовой связи, а также сравнить качество связи «большой тройки» в пределах местонахождения студента. Для примера возьмем оператора ПАО «МТС»: общее количество БС в зоне равняется 6 с самым сильным сигналом примерно -67 дБм и -68 дБм. В сравнении с БС от ПАО «Мегафон» с самым сильным сигналом примерно одинаковой мощности, как и у МТС, у второго в зоне местоположения абонента количество БС на порядок выше – 15.

– Программа имеет возможность сохранения полученных результатов сканирования в виде технических параметров каждой достоверно определенной базовой станции. Со-

храним полученные нами результаты в отчетный файл формата «.txt» по нажатию кнопки «SaveReport» (рис. 17):



Рис. 17. Кнопка «SaveReport»

– после сохранения, файл отчетности автоматически появляется в папке с программой «gsmscan» (рис. 18):

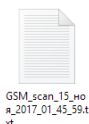


Рис. 18. Ярлык файла отчетности

– При открытии файла, с помощью встроенной в ОС Windows стандартной утилиты «Блокнот», можем видеть следующие технические данные об определенных базовых станциях сотовых операторов (представлен отрывок) (рис. 19):

ARFCN	MHz	dBm	MCC	MNC	LAC	CI	Type	BCCH
1017	933.6	-82.4	250	2	3601	40171	BCCH+TCH	
1018	933.8	-104.2	250	2	3601	40171	TCH only	1017
1019	934.0	-104.1	---	---	---	---		

Рис. 19. Содержание файла отчета

На основании этих данных, возможно легко определить местоположение каждой БС с помощью специальных навигационных программ.

6. Приступить к определению местоположения, обслуживающих абонентские терминалы базовых станций. Все необходимые параметры и данные каждой достоверно определенной БС в программе «RF DSP GSM SCANNER» мы получили в отчетном файле (предыдущий пункт). В сети Интер-

нет есть онлайн-ресурс, с помощью которого на карте будет показано достоверное местоположение любой базовой станции системы сотовой связи стандарта GSM <http://xinit.ru/bs/250-2-3650-41123> (рис. 20):

The screenshot shows the xinit.ru website interface. At the top, there's a header with the site name and navigation links. Below it, a section titled 'Местоположение базовых станций' (Base Station Location) is highlighted. The form asks for 'Укажите параметры БС' (Specify BS parameters) and includes radio buttons for network types: GSM (selected), CDMA, UMTS, and LTE. Below these are input fields for MCC (250), MNC, LAC / TAC (dec and hex), and CID / SAC / ECN (dec and hex). A 'Запросить местоположение' (Request location) button is at the bottom of the form. To the right, a sidebar contains a list of services: 'узнать свой IP-адрес', 'whois', 'групповой IP-whois', 'web-камеры Калининграда', 'местоположение базовых станций' (highlighted), 'база IMEI-номеров (TAC-кодов)', 'телефонные коды', 'групповая пробивка номеров', 'web-инструменты', 'аналитика', and 'связь с разработчиком'.

Рис. 20. Страница онлайн-ресурса «xinit.ru»

Данный ресурс без проблем работает во всех популярных интернет-браузерах: Mozilla Firefox, Opera, Google Chrome, Яндекс Браузер.

7. Каждому студенту необходимо обнаружить местоположение не менее 8 базовых станций и определить 3 три ближайшие из них, указав их на карте в пределах своего местоположения:

- из отчетного файла программы «RF DSP GSM SCANNER» необходимо внести следующие параметры одной из достоверно определенных БС (по выбору студента) – MCC, MNC, LAC, CID;

- после ввода всех вышеуказанных параметров, нажать кнопку «Запросить местоположение», после чего, ниже введенной информации, появится карта с достоверным местоположением (с минимальными погрешностями) требуемой БС (рис. 21):

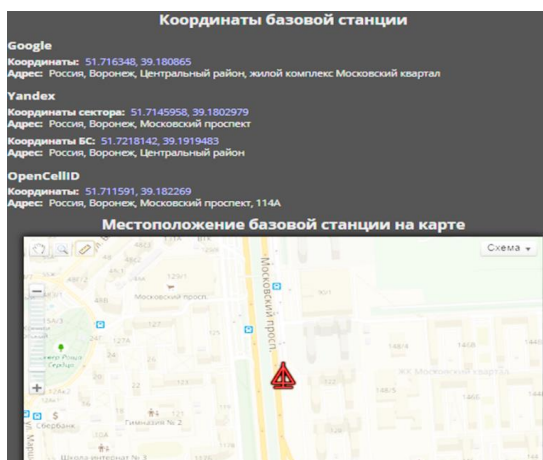


Рис. 21. Окно результатов определения местоположения

- повторить вышеуказанные действия с как минимум 7-мью другими БС – на карте будут отображены все БС, для которых были введены параметры для определения их местоположения;
- выделить 3 БС, наиболее близко расположенных к студенту (абоненту сети сотовой связи GSM);
- определить две наиболее дальние от абонента БС.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие бывают диапазоны частот для сетей GSM?
2. Преимущества и недостатки GSM сетей?
3. Что такое TDMA и FDMA? Поясните их отличия.
4. Почему возникают искажения речи при цифровой обработке и передаче в системах связи стандарта GSM?
5. Что такое EFR-технология и в чем её особенность?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

РАДИОМОНИТОРИНГ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ADS-B

2.1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Цель работы:

1) получение основных теоретических сведений о принципе работы технологии мониторинга воздушных объектов ADS-B и ее особенностях современного использования;

2) получение практических навыков мониторинга воздушных объектов по технологии ADS-B, а также получения важной информации о каждом объекте с помощью специального прикладного ПО на базе лабораторного стенда RTL_SDR-R820T2;

3) определение местонахождения обслуживающих абонентов базовых станций на основе технических данных, получаемых от них.

При выполнении домашнего задания студенты должны изучить принцип работы технологии мониторинга воздушных объектов ADS-B, особенности ее использования в современных системах радионавигации, ее важные преимущества.

В процессе выполнения лабораторного задания студенты получают практические навыки мониторинга воздушных объектов по технологии ADS-B, получения важной информации о каждом объекте с помощью специального прикладного ПО.

Указанные ранее операции производятся на базе лабораторного стенда RTL_SDR-R820T2, а также необходимого для данных задач пакетов прикладного программного обеспечения.

При выполнении работы студенты используют следующее оборудование:

- лабораторный стенд RTL_SDR-R820T2;
- персональный компьютер с ОС Windows версии 7, 8.1, или 10 (сборка 1703);
- программный декодер принимаемого сигнала RTL1090;
- комплекс специального программного обеспечения для мониторинга воздушных объектов ADS-B Scope.

2.2. НЕОБХОДИМЫЕ ТЕОРИТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Технология радиомониторинга движения воздушных объектов ADS-B

АЗН-В (ADS-B – Automatic dependent surveillance-broadcast или автоматическое зависимое наблюдение-вещание) – технология наблюдения и управления воздушным трафиком, которая позволяет получать информацию по аэронавигации с большей точностью, чем это было возможно ранее. Данная система сейчас внедряется в США, России и других странах.

Аббревиатура «ADS-B» расшифровывается так:

automatic – не требует вмешательства пилота или внешнего запроса;

dependant – зависит от точных данных о положении и скорости от навигационной системы самолета (например, GPS);

surveillance – предоставляет положение воздушного судна, высоту, скорость и другие данные наблюдения службам, которым требуется эта информация;

broadcast – информация передается для использования как воздушными судами, так и наземными службами.

АЗН-В также передает лётчикам в реальном времени погодную информацию, что позволяет расширить осведомленность летчика об окружающей его метеорологической обстановке, чем удастся повысить безопасность полетов. Доступ к данной технологии бесплатен для всех. Так воздушное судно, которое оборудовано транспондером ADS-B передает свои координаты, курс, высоту, горизонтальную и вертикальную скорость во время всего полета всем воздушным судам, которые находятся в воздухе, диспетчерским вышкам. А приемники данной технологии, установленные в командно-диспетчерском пункте и на борту воздушного судна, обеспечивают точное отображение на экране РЛС движения воздушных судов, оборудованных транспондером.

В отличие от устаревшей радиолокационной техники, ADS-B использует высокоточные сигналы от GPS. В результате ADS-B способна выполнять свои функции даже там, где обычный радар бессилен – даже в отдаленных районах или горной местности. Поскольку ADS-B может функционировать при низких высотах, а также на земле, где она может быть использована для мониторинга трафика на взлетно-посадочных полосах (ВПП) и рулежных дорожках аэропортов. Не только авиадиспетчеры могут осознать преимущества ADS-B. Воздушные суда с установленным определенным оборудованием на борту могут также получать с помощью ADS-B информацию по другим ВС, находящимся в этом же районе, и бесплатные данные по погоде (при наличии специальной подписки для полетов в воздушном пространстве США) (рис. 22).

В соответствии с концепцией воздушно-транспортной системы нового поколения и единого европейского неба (NextGen Air Transportation System and Single European Sky (SES)), оснащенные должным образом самолеты, будут передавать свои идентификационные данные, местоположение, трек, скорость и другие важные данные с помощью технологии, которая называется ADS-B Out.



Рис. 22. Общий принцип работы технологии ADS-B

Наземные станции ADS-B передают информацию о движении воздушных судов и погодных условиях, которая отображается в кабине на экране РЛС, если воздушное судно оборудовано данной технологией, но которая в полной мере реализована только в воздушном пространстве США.

Технология ADS-B была создана на основе таких систем, как:

1. Режим Mode-A или вторичный радар (SSR), который используют гражданские и военные воздушные суда. Обеспечивает до 4096 кодов ответчика (идентификационных кодов) и является самым популярным режимом. Mode-A передает информацию о высоте, ICAO-коде и идентификационном коде. В данном режиме координаты воздушного судна не передаются. Частота запроса для Mode-A – 1030 МГц.

2. Режим Mode-S занимается сканированием воздушного пространства на частоте запроса 1030 МГц, а ответы посылает на частоте 1090 МГц. Несущую, для уменьшения помех для запросов в Mode-A/C, модулируют с использованием DPSK. Если транспондер получает запрос от наземного радара, то получение запроса он подтверждает излучением ФИМ (фазово-модулированного сигнала) на частоте 1090 МГц. При этом самолет каждую секунду, вне зависимости от нали-

чия запросов от наземного радара, передает расширенный сквиттер, который содержит координаты воздушного судна.

Технология ADS-B основана на GPS (хотя достаточно IRS), что позволяет определять точные координаты самолета в пространстве. Такая информация объединяется с другой информацией о воздушном судне: тип ВС, номер, горизонтальная и вертикальная скорость, курс, - которая передается приблизительно каждую секунду.

Воздушные суда и наземные станции, оборудованные ADS-B, принимают данную информацию в радиусе около 241 км (приблизительно 150 миль). Наземные станции комбинируют полученную информацию, после ее обработки, с дополнительной, которая была получена от наземных радаров для ВС, не оборудованных АЗН-B, и транслируют эти данные для ВС в радиусе обслуживания.

Благодаря этой технологии авиадиспетчеры получили возможность уменьшать интервалы продольного эшелонирования между самолетами, шум, излучение и расход топлива за счет более эффективного управления воздушным движением.

Потому что система имеет возможность обеспечить пилотов доступом к подробной информации о воздушном движении, ADS-B также представляет собой «шаг вперед» в экспериментальном направлении увеличения ситуационной осведомленности и значительно повысит безопасность всех ВС, находящихся в воздухе.

При наличии на борту ВС дополнительного оборудования ADS-B In, как, например, Garmin GDL® 88 (устанавливается стационарно и требует сертификации) или портативного Garmin GDL 39 ADS-B приемника, самолет может также получать очень точную информацию о трафике непосредственно от других воздушных судов и корректирующие ADS-B-сигналы. Воздушные суда с этим оборудованием на борту, выполняющие полеты в воздушном пространстве США, так-

же могут получить доступ к погодной информации сети NEXRAD: METARs, TAF и другой бесплатной погодной информации.

В США для выполнения полетов в воздушном пространстве, в котором в настоящее время обязательно наличие ответчика, работающего в режиме C или S, все воздушные суда должны быть оснащены оборудованием ADS-B Out к 2020 году. Это касается воздушного пространства следующих классов: A, B, C, E (от эшелона 100 MSL и выше) над 48 смежными американскими штатами и округом Колумбия, а также класс E воздушного пространства над Мексиканским заливом от береговой линии США на удаление 12 морских миль от берега (3000 футов MSL и выше). Даже если полет не попадет ни в одну из этих категорий, будет необходимо оборудование ADS-B Out для выполнения полетов в воздушном пространстве класса B большинства аэродромов (выше эшелона 100 MSL) в радиусе 30 миль.

АЗН-В-приемники (ADS-B IN) – устройства, которые принимают данные от ADS-B, но не способны передавать данные другим воздушным судам или наземным станциям. Приемник принимает информацию о погодной обстановке и о движении самолетов. В настоящее время Федеральное управление гражданской авиации США (FAA) ограничило технологию АЗН-И в том, что наземные станции смогут передавать данные трафика только в том случае, если примут информацию как минимум от одного АЗН-В-передатчика, установленного на самолете, обнаруженного в радиусе обслуживания. Это приводит к тому, что ВС, оборудованное АЗН-В-приемником, может не получить данные о трафике, если в радиусе обслуживания нет самолетов с АЗН-В-передатчиком или они не передают сигнал, однако погодная информация всегда передается наземными станциями и доступна для приема.

АЗН-В-передатчики (ADS-B OUT) – устройства, которые передают данные АЗН-В и активируют наземные станции АЗН-В, переключая их в режим передачи воздушной обстановки для самолетов в зоне их действия. Все АЗН-В, которые передают информацию, должны быть сертифицированы Федеральным управлением гражданской авиации США (FAA).

АЗН-В-приемопередатчики – устройства, которые способны одновременно передавать и принимать данные АЗН-В. Они способны активировать наземные станции АЗН-В ФАА и переключать их в режим передачи информации о трафике для воздушных судов в зоне их действия. АЗН-В-приемопередатчики должны быть сертифицированы ФАА.

TIS-B (Traffic Information Services-Broadcast) – компонент технологии АЗН-В, предоставляющий бесплатную услугу обозрения трафика для ВС, оборудованных АЗН-В-приемниками. Данный компонент также передает оборудованным АЗН-В самолетам информацию о координатах ВС, не оборудованных АЗН-В.

FIS-B (Flight Information Services-Broadcast) – компонент АЗН-В, который обеспечивает распространение информации о погоде, ограничениях на полеты и специальной информацией о воздушной обстановке.

В Интернете существуют проекты по наблюдению за самолетами, находящимися в полете, с использованием АЗН-В приемников, установленных любителями у себя дома или в других местах. Эти данные передаются на центральный сервер, где после объединения отображаются на карте. Так как полет самолетов происходит на больших высотах, дальность радиовидимости оказывается достаточной для наблюдения в радиусе нескольких тысяч километров, что позволяет покрыть большие территории в разных странах мира. Благодаря использованию SDR-технологии прием АЗН-В возможен с наименьшими затратами.

Комплекс прикладного программного обеспечения радиомониторинга движения воздушных объектов по технологии ADS-B

Декодер принимаемого радиосигнала ADS-B навигации «RTL1090» – это не перестраиваемое приложение приемника 1090 МГц для режима А/С или Mode-S (рис. 23). Режим А/С и Mode-S не могут выводиться одновременно, однако несколько приложений/ключей могут быть подключены.

RTL1090 имеет строгое требование к формату, которое позволяет избежать высоких нагрузок трафика и перегрузки конвейера из-за слишком большого количества пакетов мусора.

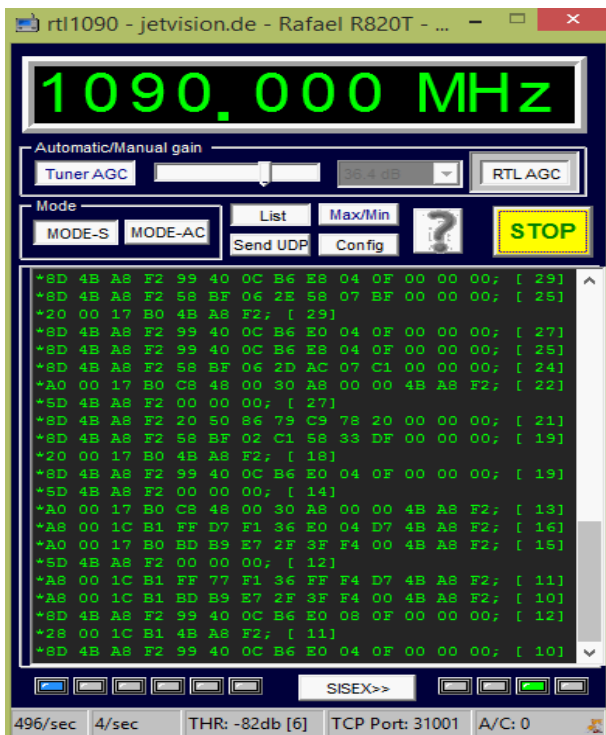


Рис. 23. Окно программы в рабочем режиме

Дополнительные возможности:

- TCP-сервер с совместимым форматом Planeplotter и т. д. (Beast или AVR);
- работа с несколькими ключами;
- функции журнала;
- возможность многоразового использования с помощью Planeplotter;
- операции выборочного ключа.

Требуемое оборудование:

- E4000 или R820T и RTL2832U USB DVB-T Dongle.

Если вы ранее успешно использовали SDR-приложения как SDR Sharp или аналогичные с вашим ключом, вам может не понадобится установка драйверов ключей (ZADIG) и начать использовать программу сразу.

Работа с несколькими тюнерами

Несколько ключей могут работать параллельно с несколькими экземплярами RTL1090. Обычно нет необходимости переустанавливать драйвер ZADIG для каждого слота для ключа/USB, просто подключите тюнер и запустите другой экземпляр приложения RTL1090. Тюнер должен быть найден и подключен автоматически.

Порты TCP-сервера: для конкретного экземпляра номер порта – $31001 + n \times 10$, то есть устройством 0 - порт 31001; устройством 1 является порт 31011 и т. д. Текущий порт TCP-сервера отображается в строке состояния.

Порты приемника UDP: для конкретного экземпляра номер порта равен $31002 + n \times 10$, то есть устройством 0 является порт 31002; устройством 1 является порт 31021 и т. д. Текущий UDP порт приемника отображается в списке запуска.

Если вы запускаете несколько экземпляров из одной и той же папки, то те же настройки и последние настройки любого экземпляра будут сохранены в тех же настройках файла.

Настоятельно рекомендуется использовать разные папки для нескольких экземпляров.

Работа программы

Начиная с нажатия кнопки «START», некоторые параметры из подключенного(ых) ключа(ей) отображаются на дисплее списка. Особое внимание следует обратить на следующие данные (рис. 24).

RTL1090 открывает socket TCP на порту 31001 (для первого ключа) и на порту 31001 + deviceID x 10 (для других тюнеров). В Planeplotter установите Mode-S receiver -> Beast receiver -> «Setup TCP client» на IP-адрес и этот порт 31001 -> 127.0.0.1:31001. Выберите Mode-S/ADS-B и RTL DONGLE в «I/O dialog».

```
=====
rtl1090 v 0.3.0.57 (c) jetvision.de 2012
=====
Commandline: /run

Started...
2 RTLSDR device(s) found. (at least 1 dongle must be found)
Index:0;   Mfr:"Realtek";   Prod:"00000013";
Ser:"";
Device:"ezcap USB 2.0 DVB-T/DAB/FM dongle"
TCP server port opened: 31001
UDP receiver port opened: 31002
UDP target is: 127.0.0.1:31012
Device opened: "43843400" (anything else
but a device opened message is a fatal error)
Tuner type: "Rafael R820T"
RTL Xtal Freq:  "28800000 Hz"
TUNER Xtal Freq: "28800000 Hz"
Mfr:"Realtek"; Prod:"00000013"; Ser:""
Gains:
0,9,14,27,37,77,87,125,144,157,166,197,207,229,2
54,280,297,328,338,364,372,386,402,421,434,439,4
45,480,496
Gain: 0 dB
Sample rate: 2000000 S/s
RTL AGC set ON
Gain: 0 dB
Freq correction: 0 ppm
Freq set: "1090000000 Hz" (a freq set error
means the dongle cannot set 1090 MHz, use the
max/min test)
Buffer cleared
Started ...
```

Рис. 24. Параметры подключенного(ых) ключа(ей)

Индикаторы внизу программы:

синие светодиоды:

количество действительных пакетов, данных в секунду:

0-LED-10-LED-20-LED-40-LED-80-LED-120-LED-> 120;

оранжевый светодиод:

данные, отправленные / полученные в / из концентратора UDP;

голубой светодиод:

клиент подключен к сокету TCP3 типа 30003;

зеленый светодиод:

planeplotter подключен к TCP-порту 310x1;

фиолетовый светодиод:

клиент подключен к серверу данных HTTP;

Светодиод красного цвета, если ответ недействителен.

Программное обеспечение визуального мониторинга
и наблюдения параметров воздушных объектов
«ADS-B Scope»

ADS-B Scope представляет собой программу для визуального мониторинга воздушных объектов в реальном времени. С её помощью выполняется оперативное наблюдение различных параметров каждого из обнаруженных объектов.

Декодированные данные ПО получает при локальном подключении к программе RTL1090, которая перед отправкой декодированной информации получает ее из радиосигнала, принимаемого тюнером RTL-SDR R820T на частоте 1090 МГц.

Данное ПО обладает достаточно мощными возможностями, например, возможность работы с несколькими декодерами – adsbScope, Beast, RTL1090, ADSB# (рис. 25).



Рис. 25. Подключаемые в настройках декодеры ADS-B информации

Для работы с программой, запустите исполняемый файл `adsbscope27_16384.exe` или `adsbscope27_256.exe` из папки с вышеописанным ПО. Через несколько секунд вы увидите основное окно программы (рис. 26).

В левой части окна программы вы можете увидеть окно навигации и панель инструментов для управления им (рис. 27, 28). Используйте мышь внутри данного окна, чтобы изменить уровень масштабирования (при нажатии правой кнопки мыши) и расположение центра навигационного окна (при нажатии левой кнопки мыши), пока в центре не будет показано ваше достоверное местоположение. Уровень масштабирования должен быть достаточно большим.

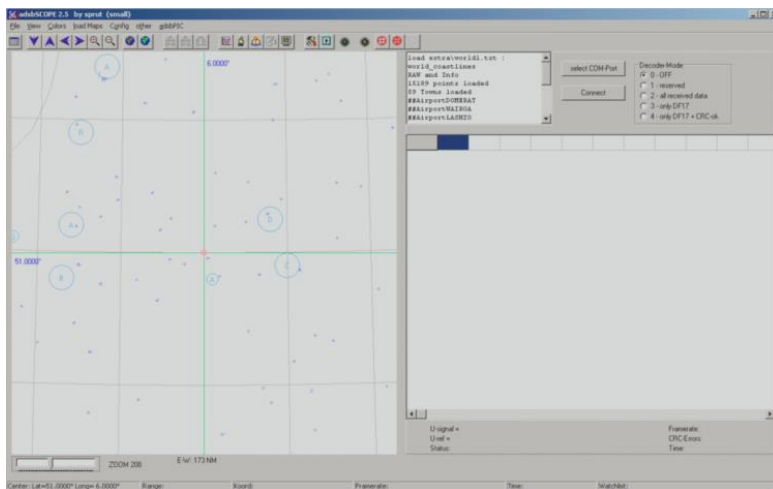


Рис. 26. Основное окно программы

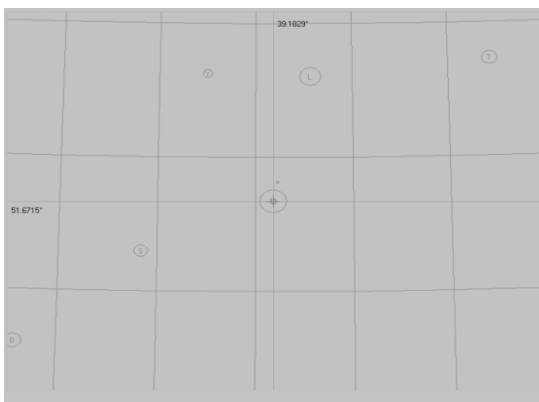


Рис. 27. Навигационное окно



Рис. 28. Указание выбранного местоположения как центр карты навигационного окна

Появится диалоговое окно с предупреждением - нажмите кнопку «ОК». Если необходимо только визуально наблюдать движение обнаруженных воздушных объектов, нажмите на кнопку , по которой в окне программы будет отображаться только навигационное окно (рис. 29):

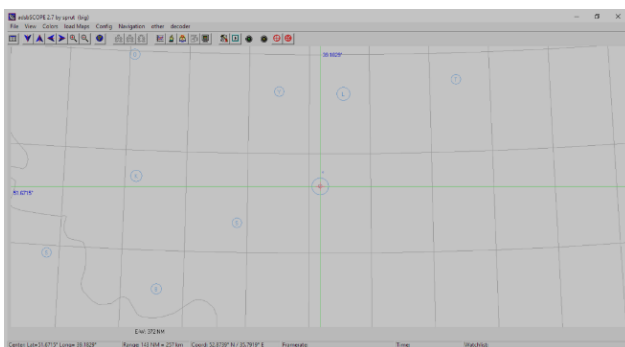


Рис. 29. Навигационное окно без дополнительной информации об объектах

Для того, чтобы установить выбранное местоположение по умолчанию при дальнейших запусках программы, нажимаем File и далее save default.

Для осуществления визуального мониторинга, а также наблюдения параметров каждого обнаруженного воздушного объекта необходимо синхронизировать программу ADS-B Scope с программой-декодером RTL1090.

Очень важно учитывать тот факт, что радиомониторинг движения воздушных объектов удобнее всего выполнять в тех городах, где имеется аэропорт (возможность увидеть большее количество самолетов и максимально короткое время ожидания получения информации о них), хотя если уделить данному процессу намного больше времени, то в течение 1 – 3 часов возможно «поймать» воздушный объект, находясь в небольшом поселке.

2.3. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ И УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

Изучить технологию мониторинга воздушных объектов ADS-B:

- общие сведения;
- особенности современного использования;
- принцип работы;
- преимущества и недостатки.

2.4. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ И УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

1. Проверить комплектность лабораторного стенда RTL_SDR-R820T2:

- SDR-ППУ RTL820T2 с интерфейсом подключения к ПК USB 2.0 и разъемом подключения антенны MCX;

- переходник для подключения антенны MCX М SMA F;
- антенна «вверный вибратор» с SMA разъемом;
- провод-удлинитель USB 2.0 М – USB 2.0 F.

2. Подключить вышеуказанные части лабораторного стенда в следующем порядке:

- подключить антенну с SMA разъемом в гнездо переходника SMA F;

- подключить провод от переходника с разъемом MCX М в гнездо MCX F SDR-ППУ RTL820T2;

- соединить гнездо от удлинителя USB 2.0 F с разъемом USB 2.0 М от SDR-ППУ RTL820T2;

- подключить в гнездо USB 2.0 F ПК собранную лабораторную установку с отключенным интернетом.

3. Проверить подключение лабораторного стенда к ПК следующим образом;

- индикатор питания SDR-ППУ RTL820T2 должен гореть ярким белым светом;

- в панели задач Windows 10 нажать на пиктограмму поиска, расположенной в левом нижнем углу экрана;

- ввести в строку поиска «Диспетчер устройств», после чего должен отображаться следующий результат (рис. 30):

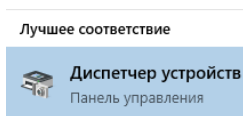


Рис. 30. Результат поиска по запросу «Диспетчер устройств»

- нажать на результат поиска.

Внимание! В случае неполадок с поиском, что иногда бывает в Windows 10, нажать комбинацию кнопок Win+R и в появившемся меню «Выполнить» набрать `compmgmt.msc` и нажать Enter, появится окно «Управление компьютером», затем нажимаем на «диспетчер устройств» (рис. 31):

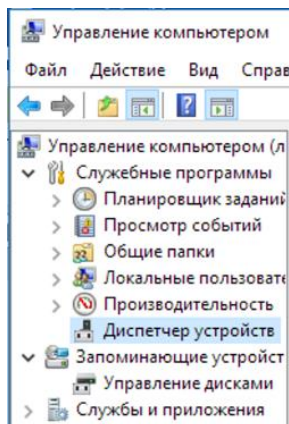


Рис. 31. Окно «Диспетчер устройств»

Данное окно выводит ассортимент всего подключенного к ПК оборудования и различных устройств, наш лабораторный стенд должен отображаться в пункте «Другие устройства» как «Bulk-In, Interface», наличие уведомления до вышеописанных действий при подключении о некорректной установке драйверов является нормальным и будем рассмотрено в следующем пункте (рис. 32).

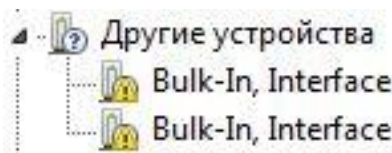


Рис. 32. Драйвера для лабораторного стенда

4. Производим установку драйвера на ОС Windows версии 7-10 для лабораторного стенда RTL_SDR-R820T2:

– отключить на время установки драйвера все экраны, а также брандмауэр установленного на ПК антивирусного программного обеспечения, в том числе отключить «Защитник Windows» на ОС Windows 10 (данные действия требуются для успешной установки драйвера, так как при игнорирова-

нии данного пункта возможны проблемы с цифровой подписью драйвера или ложное срабатывание антивирусного ПО);

– запустить программу установки драйвера «Zadig.exe» из каталога LR-RNSiK/driver, нажав на файл правой кнопкой мыши и выбирая пункт «Запуск от имени администратора» (рис. 33):

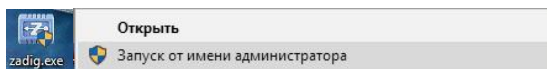


Рис. 33. Программа установки драйвера «Zadig.exe»

– после запуска появляется окно программы установки драйвера для лабораторного стенда (в разных ОС Windows стартовое окно может выглядеть по-разному) (рис. 34):

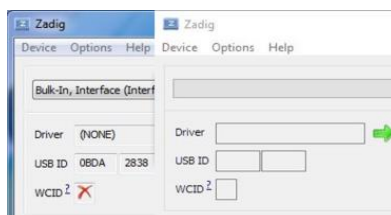


Рис. 34. Окно программы установки драйвера

– для достоверного обнаружения программой установки SDR-ПЧУ RTL820T2 перейти во вкладку «Options» и выбрать пункт List all devices (рис. 35):

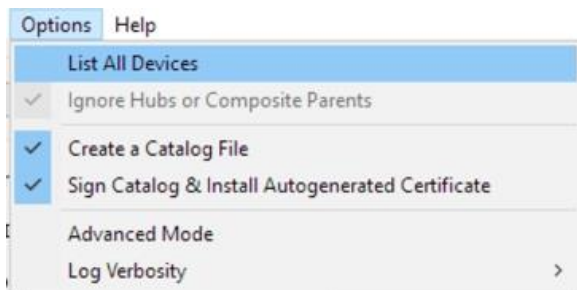


Рис. 35. Вкладка «Options»

– после поиска всех доступных программе подключенных устройств, выбрать в каталоге SDR-ПИУ RTL820T2, именуемый в программе либо RTL2838UHIDIR, либо Bulk-In Interface (Interface 0) – оба варианта верны, но в Windows 10 и Windows 7 отображаются по-разному (рис. 36):

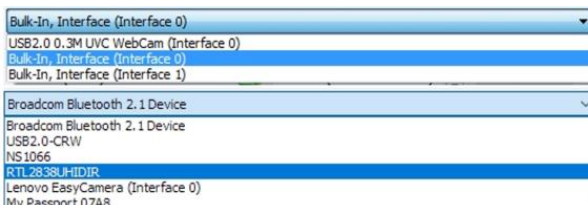


Рис. 36. Каталог всех доступных программе подключенных устройств

– выбрать версию будущей установки драйвера «WinUSB (v.6.1.7600.16385)» (рис. 37):

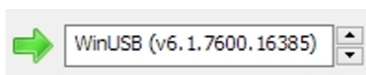


Рис. 37. Окно выбора версии будущей установки драйвера

– нажать на кнопку «Install Driver», тем самым запуская процесс установки драйвера устройства SDR-ПИУ RTL820T2. При возникновении окна «Безопасность Windows» установить галочку «Всегда доверять программному обеспечению» и нажать кнопку «Установить» (рис. 38):

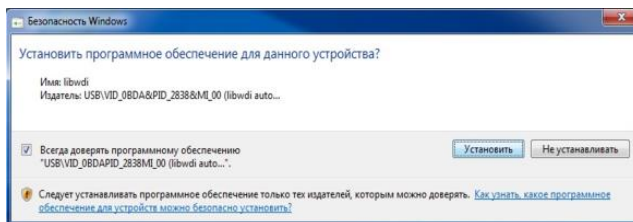


Рис. 38. Окно «Безопасность Windows»

– после успешной установки устройство будет добавлено в систему (рис. 39):

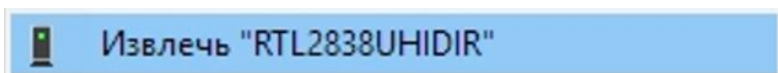


Рис. 39. Устройство было добавлено в систему

5. Приступить к основной цели лабораторного задания. Для этого будем использовать комплекс специального программного обеспечения, который позволяет выполнять обнаружение и визуальное наблюдение воздушных объектов, а также радиомониторинг параметров их полета.

Комплекс состоит из двух программ – декодера принимаемой ADS-B информации на частоте 1090 МГц («RTL1090»), а также клиента обработки декодированной информации и вывода ее на экран для получения необходимых сведений об объекте («ADS-B Score»). Далее необходимо выполнить следующие действия:

– запустить программу-декодер «RTL1090» из каталога LR-RNSiK/2_ADS-B_Navigation, кликнув по исполняемому файлу «rtl1090.exe» правой кнопкой мыши и выбирая пункт «Запуск от имени администратора» (рис. 40):

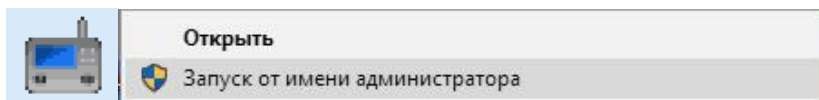


Рис. 40. Исполняемый файл «rtl1090.exe»

– после выполнения вышеописанных действий, появится основное рабочее окно программы (рис. 41):



Рис. 41. Основное рабочее окно программы

– нажать кнопку «Start». Начинается процесс проверки подключения тюнера RTL-SDR R820T из лабораторного стенда (рис. 42):

```
airports1090.dat - 13053 datasets loaded
navajds1090.dat - 10890 datasets loaded
world1090.dat - 238384 datasets loaded

No RTL1090 3rd party plug-ins found.

Started...
1 RTLSDR device(s) found.
Device: Generic RTL2832U OEM
TCP server port opened: 31001
UDP receiver port opened: 31002
Port 30003 type TCP server opened: 31004
HTTP server port opened: 31008
UDP target is: 127.0.0.1:31012
Device opened: "144850920"
** Manufacturer: Realtek
** Product:      RTL2838U/HDIR
** Serial:       000000001
Tuner type: "R820T"
RTL Xtal Freq: "28800000 Hz"
TUNER Xtal Freq: "28800000 Hz"
Gains: 0,9,14,27,37,77,87,125,144,157,166,197,207,229,254,
Gain: 49.6 dB
Sample rate: 2000000 S/s
Tuner gain set to AUTO
RTL AGC set ON
Freq correction: 0 ppm
Freq set: "1090000000 Hz"
Buffer cleared
```

Рис. 42. Процесс проверки подключения тюнера RTL-SDR R820T

– для осуществления дальнейшей передачи декодированной информации и ее обработки сторонним программным обеспечением для мониторинга параметров воздушных объектов и наблюдения их движения, программа автоматически запускает локальный TCP-сервер по адресу 127.0.0.1:31001 (порт 31001). Это можно посмотреть в листинге запуска «RTL1090» во вкладке «List» до переключения на вкладку «Table». После открытия сервера, внизу окна выводятся необходимые данные – ring, скорость обработки потока, сила сигнала, номер открытого порта и идентификатор подключенного SDR-оборудования (рис. 43):



Рис. 43. Мониторинг параметров

– процесс обнаружения и радиомониторинга воздушных объектов по технологии ADS-B начинается непосредственно после проверки подключенного SDR-оборудования и его настройки программой «RTL1090». Однако успешное выполнение данной задачи зависит от таких факторов, как наличие необходимой антенны для диапазона ADS-B, и аэропорта в городе (практически круглосуточная возможность наблюдения за самолетами для студента). В противном случае, радионаблюдение за воздушными объектами не будет таким качественным, к тому же времени, которые необходимо для получения информации о пролетающих объектах, будет затрачено гораздо больше (1 – 3 часа против 3 – 30 мин). Через некоторое время во вкладке «List» главного окна программы наблюдаем потоки декодированной информации из принятого(ых) радиосигнала(ов) от обнаруженных воздушных объектов (рис. 44):

```

*AD 00 17 18 C6 5D 00 3D A4 00 00 40 07 FB; [ 12]
*A8 00 1C 10 80 3E 38 3D 00 04 E7 40 07 FB; [ 15]
*SD 40 07 FB 00 00 00; [ 14]
*8D 40 07 FB 58 89 82 60 78 20 6C 00 00 00; [ 11]
*8D 40 07 FB 58 89 85 CE 15 E8 13 00 00 00; [ 14]
*8D 40 07 FB 99 45 3A 2E E8 08 8A 00 00 00; [ 14]
*SD 40 07 FB 00 00 00; [ 16]
*8D 06 A0 75 58 83 F2 10 1A 28 E9 00 00 00; [ 10]
*SD 40 07 FB 00 00 00; [ 14]
*SD 40 07 FB 00 00 00; [ 13]
*8D 40 07 FB 99 45 3A 2E E8 08 8A 00 00 00; [ 12]
*02 E6 17 18 40 07 FB; [ 13]

```

Рис. 44. Поток декодированной информации

– декодер «RTL1090» имеет возможность выводить на экран предварительный результат обработанных декодированных потоков от объектов во вкладке «Table» (рис. 45):

ICAO	C/S	ALT..MCP	V/S	GS	TT	SSR	G*456A	SX	MSGS
42A588		F37D		383	162			3	4
4249C8		F350		379	159			3	6
A2A915	UAL48	F350=		451	138		.	5	97
A2A915		F350		452	138		.	5	18
42438D	RW2703	F330=			0721		...	4	266
600803	ANY684	F370=		404	140	4802	*...	5	195
155BF8	A4304	F370>291		386	163	0723	...	5	4 71

Рис. 45. Предварительный результат обработанных декодированных потоков

Для каждого объекта, обнаруженного на радаре, выводятся следующие данные:

- 1) Hex – ICAO-адрес Международной организации гражданской авиации (16-ричный код ICAO (24 бита) уникален для каждого воздушного судна;
- 2) C/S – регистрационный номер;
- 3) ALT..MCP – режим пилотирования;
- 4) Gs – скорость (в узлах, kts);
- 5) TT – курсовой угол.

По данным параметрам определим, например, воздушный объект с регистрационным номером A4304:

- 1) рейс A4 304, Санкт-Петербург – Краснодар (по данным в сети Интернет);
- 2) код по ICAO 155BF8;
- 3) режим пилотирования F370>291;

- 4) скорость 386 узлов;
- 5) курсовой угол 163 градуса.

Но это чисто технические данные, которые больше предназначены для программ наблюдения воздушных объектов и вывода информации о его полете.

Все вышеописанные данные о самолетах, находящихся в зоне действия ADS-B радара, были получены с помощью тюнера RTL-SDR R820T и обычной телескопической ТВ-антенны, находящихся в помещении, в городе Воронеже.

Внимание! После выполнения всех вышеописанных операций ни в коем случае не закрывайте программный декодер!

6. Научиться обрабатывать полученные данные от программного декодера с помощью ПО мониторинга обнаруженных объектов, визуального наблюдения и анализа данных о полете «ADS-B Scope».

Запустите программу из каталога LR-RNSiK/2_ADS-B_Navigation/ADS-B Scope, кликнув по файлу «adsbscope27_16384.exe» правой кнопкой мыши и выбрав пункт «Запуск от имени администратора» (рис. 46):

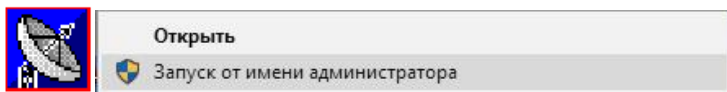


Рис. 46. Ярлык файла adsbscope27_16384.exe

В процессе загрузки программы выводится приветственное окно (рис. 47):

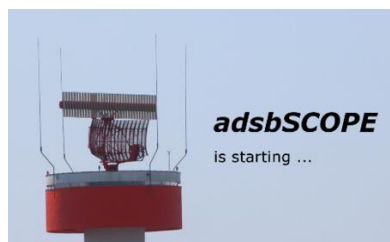


Рис. 47. Окно приветствия

После окончания загрузки программы, она попытается найти подключенное к ней SDR-оборудование, так как сама может выполнять роль декодера принимаемого ADS-B-сигнала, однако с RTL-SDR-тюнером ее декодер работает некорректно. Будет выведено оповещение, предупреждающее о невозможности найти устройство в заданном COM-порте, смело игнорируем его и нажимаем кнопку «ОК» (рис. 48):

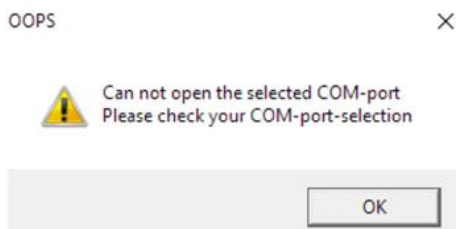


Рис. 48. Предупреждающее оповещение

Видим основное окно программы (рис. 49), состоящее: 1) навигационной карты движения обнаруженных воздушных объектов (слева); 2) окна вывода служебных сообщений и декодированной информации от подключаемого по локальной сети декодера (справа сверху); 3) кнопки «Connect» и «Select COM-port» для прямого подключения SDR оборудования к встроенному программному декодеру; 4) поля выбора режимов приема декодированного сигнала (справа от вышеописанных кнопок); 5) основной панели управления программой (выше навигационной карты); 6) окна вывода тех-

нической (служебной) информации о каждом обнаруженном воздушном объекте (справа от карты).

«ADS-B Score» является портативной программой, не требующей непосредственной установки в систему (рис. 49). Настройки программы автоматически сохраняются перед ее закрытием. Для облегчения выполнения лабораторного задания студентами, вышеописанное ПО поставляется с предварительно настроенной для Воронежа конфигурацией: по умолчанию выбраны координаты города, выполнены настройки синхронизации «ADS-B Score» и «RTL1090», задана конфигурация нормального приема декодированной информации. Однако для лучшего понимания работы комплекса ПО, а также получения прочных практических навыков осуществления радиомониторинга и наблюдения обнаруженных воздушных объектов, некоторые важные элементы настройки «ADS-B Score» будут рассмотрены более подробно.

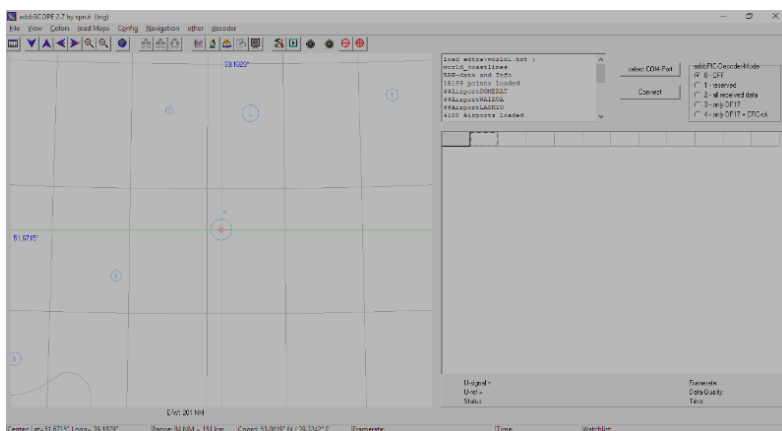


Рис. 49. Основное окно программы «ADS-B Score»

В поле выбора режимов приема декодированного сигнала выбираем «2 - all received data» (рис. 50):

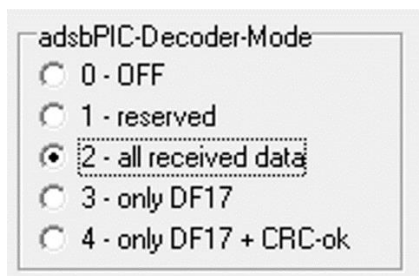


Рис. 50. Окно выбора режимов приема декодированного сигнала

В панели управления программой нажать на вкладку «decoder» и выбрать пункт «rxControl» (рис. 51):

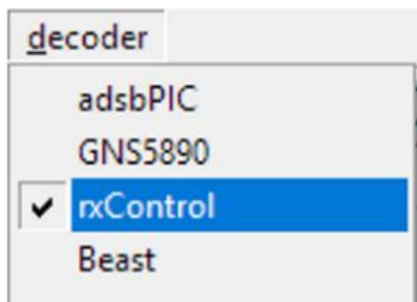


Рис. 51. Окно вкладки «decoder»

Нажать на вкладку «other» панели управления, открыть пункт «Network» и выбрать пункт «Network Setup» (рис. 52):

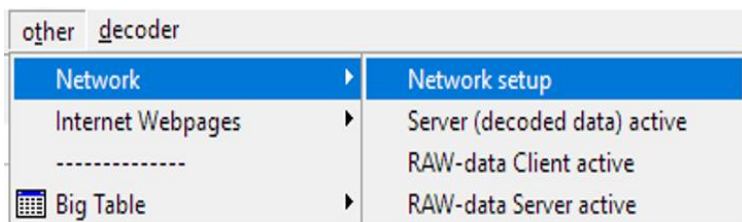


Рис. 52. Выбор пункта «Network Setup»

Откроется окно настройки синхронизации программы с декодером либо по локальной сети, либо через сеть Интернет. В поле «presets» нажимаем на кнопку «RTL1090», тем самым задавая настройки синхронизации программы с декодером «RTL1090». Проверим настройки на вышеописанное декодирующее ПО, сверившись с рис. 53:

The screenshot shows a software window titled 'Server (decoded data)' with three main sections:

- Server (decoded data):** Contains a 'Portnumber' field with the value '30003'.
- RAW-data-server:** Contains a 'Portnumber' field with the value '7777' and a checked checkbox labeled 'send data from local decoder only'.
- RAW-data-client:** Contains a 'Portnumber' field with the value '31001', a 'URL' field with 'local' selected and '127.0.0.1' entered, and a 'dataformat' section with 'normal' and 'binary' radio buttons, where 'binary' is selected.

At the bottom, there is a 'presets' section with four buttons: 'adsbScope', 'BEAST', 'RTL1090' (which is highlighted with a red border), and 'ADSB#'.

Рис. 53. Окно настройки синхронизации программы с декодером по локальной сети

После нажатия на кнопку «Close» произойдет сохранение новых настроек. Опять переходим на вкладку «other» панели управления, открываем пункт «Network» и выбираем пункт «RAW-data Client active», тем самым активируя синхронизацию по локальной сети ПО декодирования принимаемой информации ADS-B из радиоэфира на частоте 1090 МГц «RTL1090», программы-обработчика декодированной информации, отображения технических данных об обнаруженных воздушных объектах в пределах зоны дей-

ствия радара и наблюдения их движения «ADS-B Score» (рис. 54):

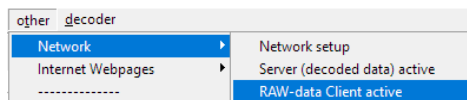


Рис. 54. Активация синхронизации по локальной сети

После успешной синхронизации комплекса программного обеспечения справа внизу окна ПО «RTL1090» загорится зеленый индикатор «TCP», означающий, что произошло подключение программы-клиента «ADS-B Score» к TCP серверу декодера (рис. 55):



Рис. 55. Успешное подключение программы клиентам к серверу декодера

В программе «ADS-B Score», после успешной синхронизации комплекса программного обеспечения, в окне вывода служебных сообщений появится запись «Client: connected», а также будет последовательно выводиться получаемая декодированная информация для ее дальнейшей обработки в программе (рис. 56):

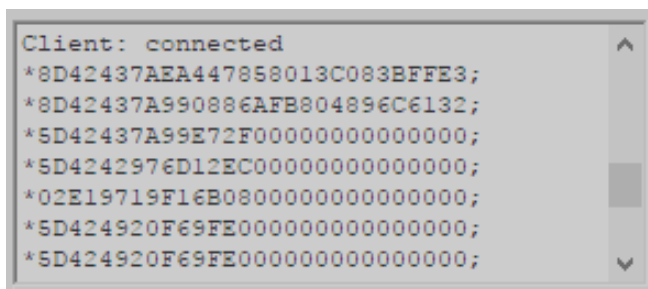


Рис. 56. Получаемая декодированная информация

Если «RTL1090» отправляет достаточное количество декодированной информации в «ADS-B Score», то практически сразу, либо через короткое время в окне вывода технической (служебной) информации будем получать данные обо всех обнаруженных воздушных объектах (рис. 57):

Nr.	ICAO24	Registr.	Ident	Alt	Lat	Long	Speed	Head.	Climb	Type	T-out
8	15069D	Russian F									96 M
7	424597	UK	AFL2132	35000	51.84	39.22	395	162			6
6	42458B	UK	AFL2142	37000	51.66	39.32	386	160	64		2
5	4245C8	VQ-BJN		35000			379	159		B735	258 M
3	155BF8	Russian F	A4304	37000	51.34	39.50	392	161	-64		0
2	42436D	UK	RWZ703	32975							168 M
1	600803	4K-AZ03	ANY684	37000	51.19	40.07	415	140		A319	0
0	A2A915	N27015	UAL48	34875	51.31	39.87	452	138		B772	0

Рис. 57. Окно вывода технической (служебной) информации

В навигационном окне будут отображаться только те объекты, для которых получена наиболее полная информация от декодера и обработчика. Как видно из окна технических данных, в окне радара предположительно должны отображаться 5 самолетов гражданской авиации – Российской Федерации, Великобритании, Азербайджана, и США, что мы и видим спустя некоторое время (рис. 58):

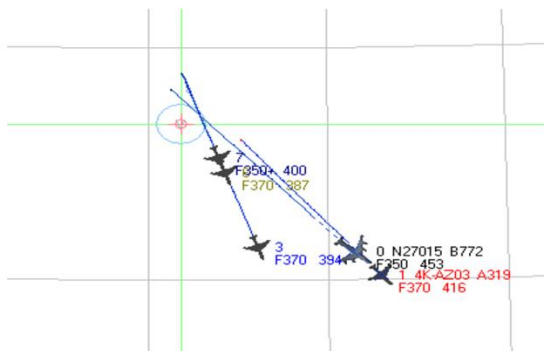


Рис. 58. Навигационное окно

При нажатии на какой-либо самолет в левом верхнем углу навигационной карты выводится техническая информация о его рейсе, принадлежности к государству, скорости полета, координатах местоположения, высоте полета над землей, а также курсовом угле. Приведем данные нескольких объектов (рис. 59, 60, 61):

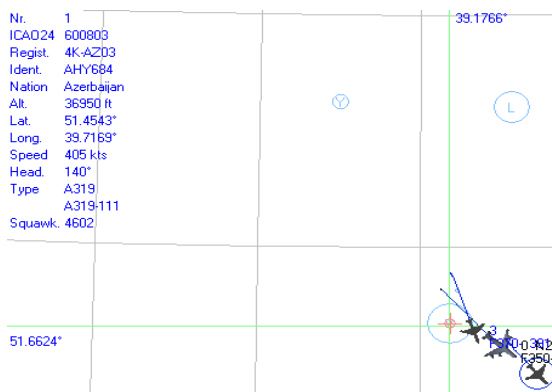


Рис. 59. Отображение данных об объекте на навигационной карте

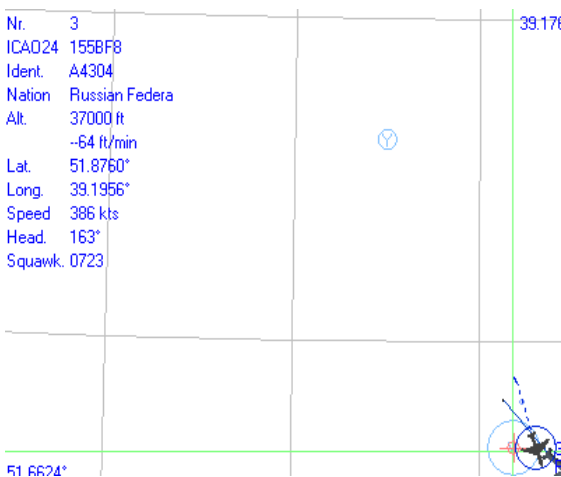


Рис. 60. Отображение данных об объекте на навигационной карте

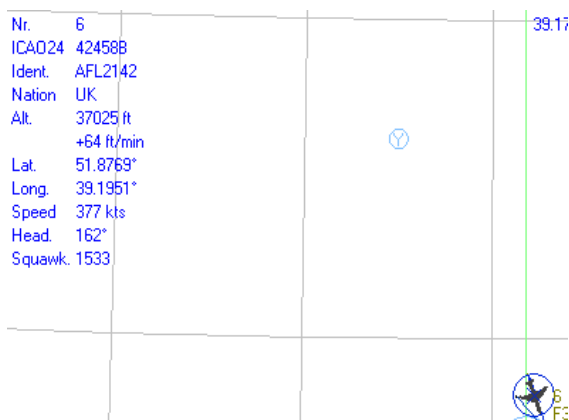


Рис. 61. Отображение данных об объекте на навигационной карте

Каждому студенту в ходе выполнения лабораторного задания необходимо обнаружить и выяснить технические параметры хотя бы 1-2 воздушных объектов

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принцип работы технологии ADS-B, взаимодействие ее элементов?
2. Преимущества и недостатки технологии ADS-B, ее перспективы развития в будущем?
3. Что такое TIS-B и FIS-B? Поясните их отличия.
4. Для чего нужна синхронизация ПО «RTL1090» и «ADS-B Scope»? Возможна ли работа первой программы автономно, и если да, то в чем её различия по сравнению с синхронизацией со второй?
5. Расскажите о ПО «ADS-B Scope», его назначении и функциональных возможностях?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ КОМПЛЕКТА УЧЕБНОГО ОБОРУДОВАНИЯ «СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ GPS-NOTE»

3.1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Одной из главных особенностей используемой учебной установки является использование современной элементной базы, в частности специализированной микросхемы «Ublox neo m6», которая способна реализовать функции цифрового приема сигналов спутниковой навигации GPS-NOTE, ГЛОНАСС.

Установка позволяет организовать учебное место для двух-трех студентов и обеспечивает возможность провести серию экспериментов для изучения особенностей работы систем спутниковой навигации, а также представляет научный интерес. В работе описаны эксперименты по наблюдению флуктуаций уровня сигналов спутников, доказана их коррелируемость с возмущениями ионосферы и возможность прогнозирования трасс прохождения радиоволн.

В состав установки входят следующие блоки:

1. Модуль приемника спутниковой навигации стандартов GPS-NOTE/ГЛОНАСС выполненной на базе специализированной микросхемы «Ublox neo m6».

2. Переносной компьютер (ноутбук), который обеспечивает функции управления, обработки и визуализации данных кодограмм модуля приемника спутниковой навигации.

3. Комплект антенн спутниковой навигации:

- штыревая антенна;
- керамическая плоская микрополосковая антенна;
- активная плоская антенна.

4. Батарейный отсек с комплектом аккумуляторов для эксплуатации учебной установки в полевых условиях.

5. Зарядное устройство для аккумуляторов.
6. Блок питания модуля спутниковой навигации от сети 220 В 50 Гц.
7. Кабель USB-BF для связи модуля спутниковой навигации с ноутбуком.
8. Программное обеспечение «u-center GPS Evaluation», реализующее функции управления, обработки и визуализации данных модуля спутниковой навигации.

3.2. НЕОБХОДИМЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В грубом приближении принцип спутниковой навигации состоит в измерении индивидуальной задержки сигналов, а это показывает расстояние от каждого спутника до приемника. При этом различные системы навигации отличаются только методом измерения расстояния и протоколом обмена данными.

Наиболее распространенной является система GPS-NAVSTAR [2].

Группировка спутников системы GPS обращается вокруг Земли по круговым орбитам с одной высотой и периодом обращения, которые являются общими для всех спутников. Орбита имеет высоту около 20 200 км, а период обращения равен половине звездных суток 11 ч 58 мин. Плоскости орбиты имеют общий наклон в 55° . Единственным отличием орбит является долгота восходящего узла, или точка, в которой плоскость орбиты спутника пересекает экватор: данные точки отстоят друг от друга приблизительно на 60° . Орбиты расположены так, что как минимум 6 спутников находятся в пределах прямой видимости из любой точки Земли. Несмотря на общие параметры орбит, спутники обращаются в шести разных плоскостях, по 4 спутника в каждой. Спутники излучают сигналы в диапазонах: $L1 = 1,57542$ ГГц и $L2 = 1,22760$ ГГц, а новые модели IIF излучают также на $L5 = 1,17645$ ГГц.

Информация со спутников может быть принята антенной и обработана GPS-приемником.

Сигналы, передаваемые в диапазонах L1 и L2, распространяются без ограничений на использование.

Одним из принципиальных недостатков (для отечественных пользователей) GPS навигации является то, что она полностью контролируется американскими военным ведомством и в любой момент времени может быть отключено обслуживание наземных GPS-приемников на той или иной территории.

Другим принципиальным недостатком системы GPS является то, что для передачи сигналов навигации со спутника используется фазовая манипуляция BPSK с кодовым разделением каналов CDMA, которая оказалась весьма уязвимой при постановке узкополосных помех. Так, в работе [3] популярно описан принцип постановки помех: «Суть идеи заключается в том, что при наличии в пространстве двух близких по частоте несущих в пространстве возникают биения. Они имеют частоту между этими излучаемыми частотами, а в соседних максимумах фаза сдвинута на 180 градусов – это проходят в школе. Если теперь одна из несущих была фазоманипулированной, суть дела от этого не меняется. В приемнике GPS стоит коррелятор, который сворачивает фазоманипулированный навигационный сигнал с имеющейся в приемнике его копией. Когда отклик коррелятора достигает максимума, то это и считается временем прихода сигнала. Если в пределах полосы коррелятора (в гражданском канале это около 2 МГц) будет еще одна несущая, то это эквивалентно фазоманипулированной помехе, крутящей фазу через импульс. В результате чего приема сигнала просто не будет». Чтобы заглушить сигнал GPS, используя биения, необходимо излучать на Земле немодулированные частоты 1575.42 МГц (гражданский L1-канал) и 1227.60 МГц (военный L2-канал). Мощность передатчика может быть порядка единиц Вт, при

этом 1 Вт хватает для того, чтобы заглушить сигнал на расстоянии прямой видимости до 500 км.

Отечественная система ГЛОНАСС построена на базе частотно-манипулированного сигнала FDMA и обладает значительно большей помехоустойчивостью [4].

Спутники ГЛОНАСС находятся на высоте 19 100 км, а круговые орбиты имеют наклон $64,8^\circ$, а период обращения равен 11 ч 15 мин. Такие параметры подобраны специально, чтобы орбита была оптимальной для использования в высоких широтах, так как в них прием GPS затруднителен. Группировка спутников развернута в трех плоскостях с 8 спутниками в каждой. Для того, чтобы система ГЛОНАСС обеспечивала мировое покрытие необходимо иметь 24 спутника, а для покрытия системой территории России необходимы 18 спутников. Сигналы передаются с направленностью 38° с использованием правой круговой поляризации, мощностью 316 – 500 Вт. Навигационное сообщение транслируется со скоростью 50 бит/с. Суперкод сигнала имеет длину 7500 бит и содержит 5 кадров по 30 сек (150 сек) для передачи полного сообщения. Кадр имеет длину 1500 бит и содержит 15 строк по 100 бит, 85 бит данных, контрольной суммы и 15 бит для метки времени. Строки с 1 по 4 предоставляют непосредственные данные для спутника и повторяются каждый кадр. В данных содержатся: сдвиги частот, часов, эфемериды. Строки 5 – 15 содержат альманах; в кадрах I – IV передаются данные на 5 спутников в каждом, а в кадре V – на оставшиеся четыре спутника. Используют FDMA и CDMA сигналы.

Орбитальная группировка китайской система спутниковой навигации «BeiDou Navigation Satellite System» (BDS) [5] (Бэйдоу, что в переводе означает «Северный Ковш», это китайское название созвездия Большой Медведицы) начала формироваться в 2010 г. и к декабрю 2012 года составляла пять геостационарных спутников (GEO), пять спутников на наклонной геосинхронной орбите (IGSO) и четыре

среднеорбитальных спутника (МЕО), которые и сформировали рабочее созвездие. Ожидается, что полномасштабный запуск системы с её выходом на полную мощность состоится к 2020 г. Система будет иметь 5 спутников на геостационарных орбитах и 30 спутников на отличных от нее. Система была запущена в коммерческую эксплуатацию 27.12.12 как региональная система для Азиатско-Тихоокеанского региона.

Автором настоящей работы не удалось найти каких-либо достоверных сведений о структуре и формате сигнала. Известно лишь, что предполагается использовать следующие диапазоны: В1 1559,052-1591,788 МГц, В2 1166,22 – 1217,37 МГц, В3 1250,618 – 1286,423 МГц.

У китайской навигационной системы есть особенность: используемый в ней навигатор является не только приемником, но и передатчиком. Система через два спутника посылает сигнал пользователю, а устройство пользователя после этого посылает ответный сигнал через оба спутника. Наземная станция по временной задержке рассчитывает координаты пользователя, и определяет высоту по базе данных, а затем передает эти данные на устройство пользователя.

Описание модуля спутниковой навигации

Установка состоит из следующих блоков (рис. 62), таких как:

1 – модуль приемника спутниковой навигации стандартов GPS-NOTE выполненной на базе специализированной микросхемы «Ublox neo m6»;

2 – переносной компьютер (ноутбук), обеспечивающий функции управления, обработки и визуализации данных кодограмм модуля приемника спутниковой навигации;

3 – активная плоская антенна;

4 – блок питания модуля спутниковой навигации от сети 220 В 50 Гц.

5 – кабель USB-BF связи модуля спутниковой навигации с ноутбуком.

6 – COM-кабель для подключения дополнительных модулей.

7 – программное обеспечение u-center, реализующее функции управления, обработки и визуализации данных модуля спутниковой навигации.

8 – разрабатываемое программное обеспечение для автономного исследования спутниковой навигации.

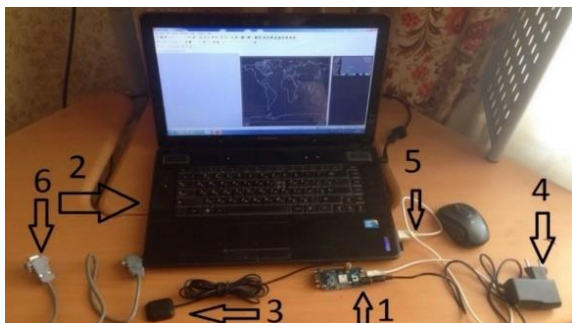


Рис. 62. Общий вид лабораторной установки исследования спутниковой навигации

Плата спутниковой навигации, которая состоит из следующих элементов (рис. 63):

1 – плата модуля спутникового приемника;

2 – разъем USB подключения внешнего компьютера;

3 – разъем подключения внешнего блока питания;

4 – коаксиальный разъем подключения спутниковой антенны;

5 – специализированная микросхема спутниковой навигации «Ublox neo m6»;

6 – кнопка включения/выключения;

7 – индикатор состояния;

8 – индикатор приема данных (при успешном приеме данных начинает мигать с частотой 1 Гц) ;

9 – СОМ-порт для подключения дополнительных модулей.

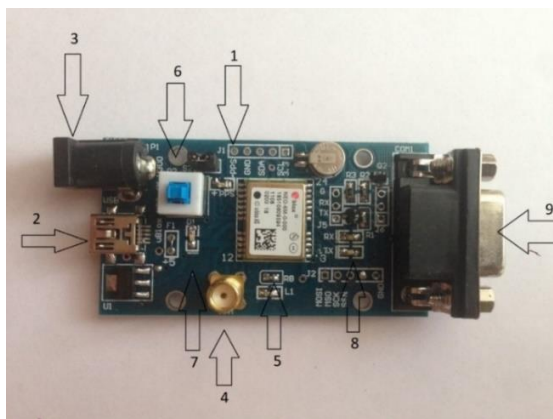


Рис. 63. Плата спутниковой навигации

Параметры модуля навигации «Ublox нео m6»:

1. Размеры модуля – 16.0 мм*12.2мм*2.4 мм.
2. Позиционирование – 2.5 мсер.
3. Холодный старт – 29 с .
4. Теплый старт – 21 с.
5. Чувствительность –162 dbm.
6. Скорость передачи через порт USB 2/0 – 12 Мбит/с.
7. Протокол данных – NMEA.
8. Напряжение – 2.7...3.6 В.
9. Мощность – 80...120 мВт.
10. Рабочая температура -40...+85.

Помимо «холодного» старта (который может занимать несколько десятков минут), актуального при полном отсутствии информации данных текущего «альманаха», возможен «теплый» и «горячий» режим запуска. В этих случаях происходит лишь обновление данных «альманаха», полученных в предыдущих сеансах измерения координат

Схема цветового обозначения

В графических окнах просмотра и некоторых информативных окнах следующие цвета используются для индикации качества данных.

Таблица 4

Параметры цветового обозначения для графических окон в зависимости от качества навигации

Цвет	Обозначение
Желтый	Текущее значение
Зеленый	3D-навигация
Голубой	2D-навигация
Синий	Ухудшение навигации
Красный	Навигация отсутствует

Таблица 5

Схема обозначения для Docking Windows и окна обзора неба, показывает состояние каждого спутника

Цвет	Обозначение
Зеленый	Спутник используется в навигации
Голубой	Есть сигнал от спутника, который можно использовать для навигации
Синий	Есть сигнал от спутника, который невозможно использовать для навигации
Красный	Нет сигнала от спутника

Структура меню

Основное окно – первичное для u-center. В нем отображаются панели инструментов и некоторая информация GPS-приемника. В строке состояния показана информация о связи, всемирном координированном времени (UTC), и времени работы, используемом протоколе (NMEA или UBX), используемом файле и т.д.

Все функции u-center доступны в панели меню, в качестве альтернативы можно использовать иконки на панели инструментов.

Меню «View» и панель «Views». В данном окне отображается содержимое сообщений UBX-INF или NMEA в текстовой форме (рис. 64).

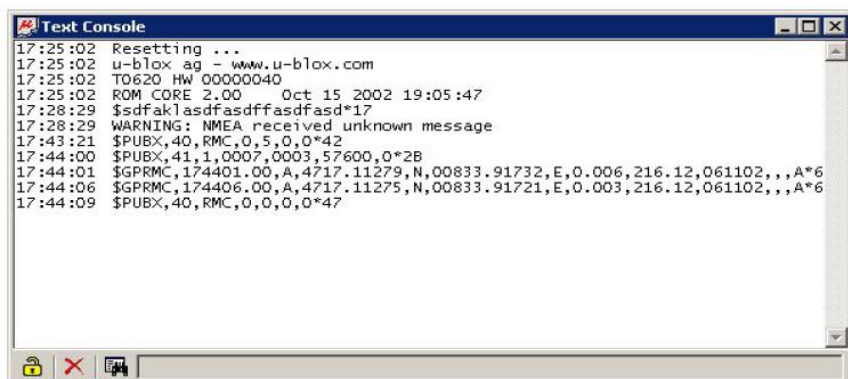


Рис. 64. Просмотр текста - отображение UBX-INF и NMEA сообщений

Окно пакетного просмотра включает в себя все входящие сообщения и предоставляет информацию о длине и типе сообщения (рис. 65).

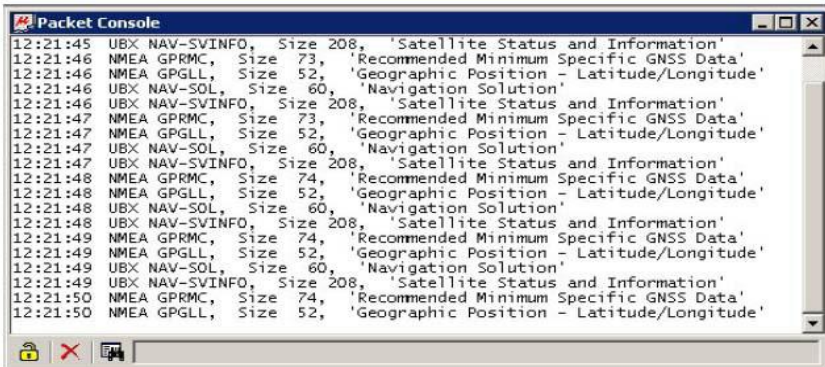


Рис. 65. Окно просмотра пакета

Окно просмотра в двоичном коде (рис. 66). Данное окно содержит все входящие сообщения в двоичном и ASCII формате.

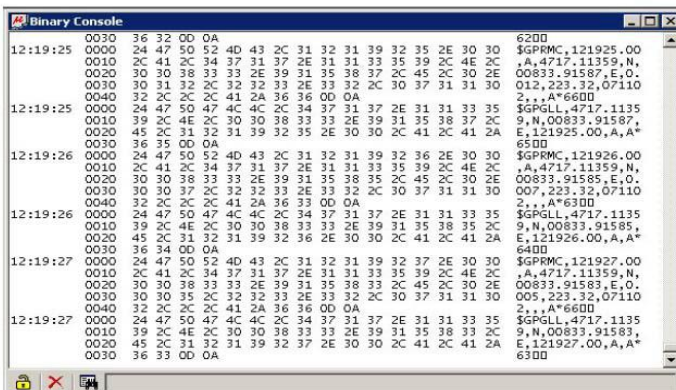


Рис. 66. Окно просмотра в двоичном коде

Chart View позволяет пользователю легко просмотреть записи GPS-Data в графической форме. Данные можно масштабировать различными способами и форматами. Диаграмму можно распечатать.

Примеры ниже иллюстрируют 3 различные типовые приложения (рис. 67, 68, 69).

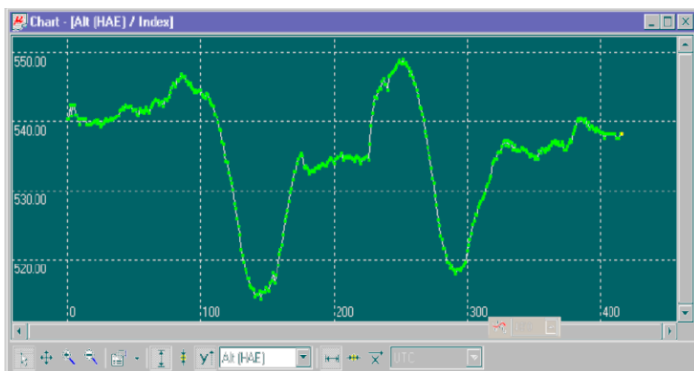


Рис. 67. Высота как функция от индекса
(X = индекс, Y = высота)

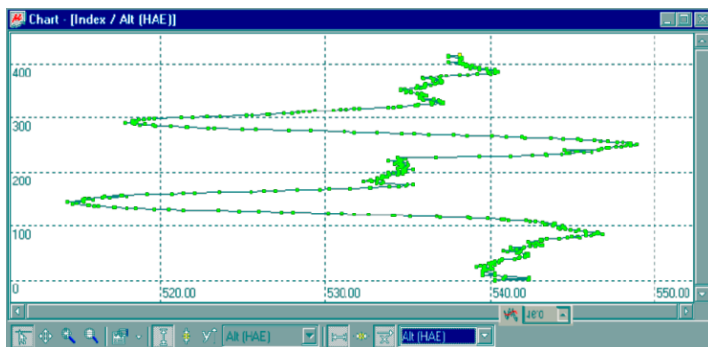


Рис. 68. Индекс как функция от высоты
(X = высота, Y = индекс)

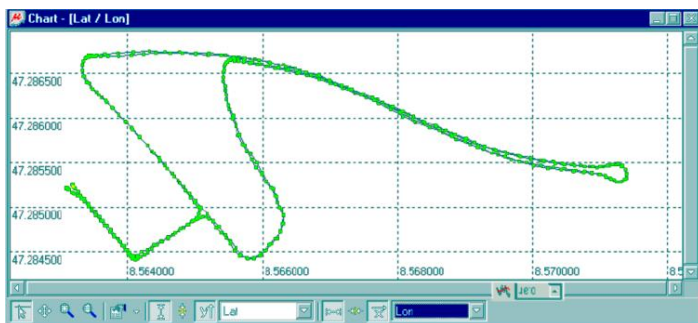


Рис. 69. Широта как функция от долготы
(X = долгота, Y = широта)

Окно просмотра гистограмм (рис. 70), которое позволяет пользователю посмотреть GPS-данные и стохастические распределения (рис. 71) и распечатать необходимую гистограмму. Число элементов дискретизации определяется пользователем.

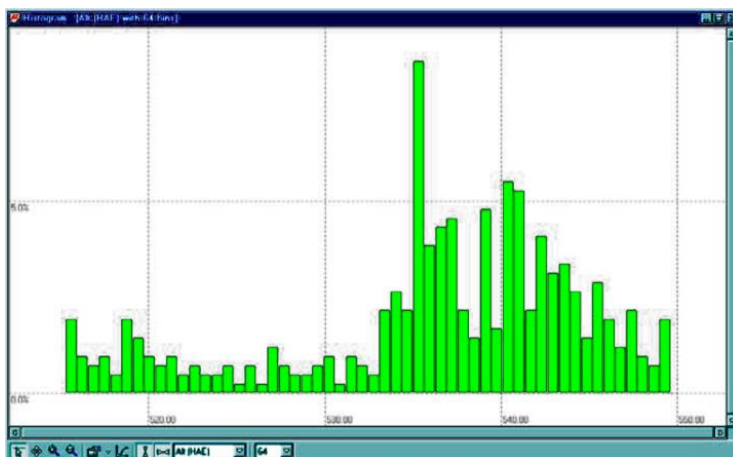


Рис. 70. Гистограмма высоты

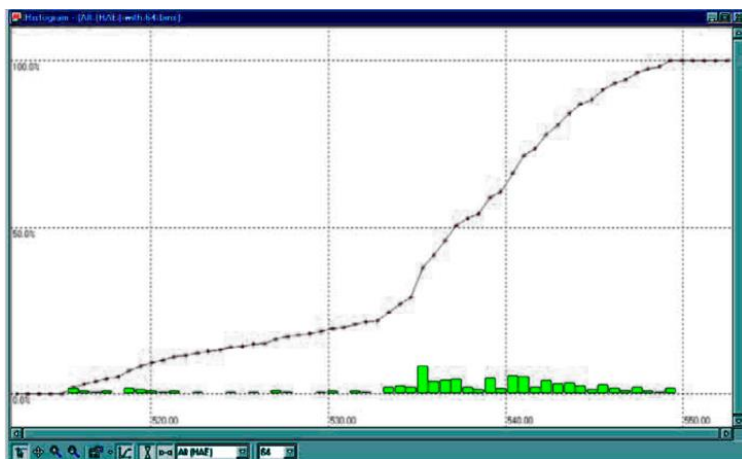


Рис. 71. Диаграмма распределения

Карта девиации (отклонения) показывает позиции широты и долготы относительно позиции отсчета (рис. 72).

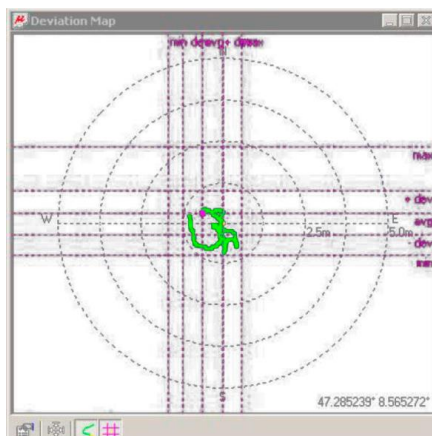


Рис. 72. Карта девиации

U-center может отображать позиции на заранее откалиброванных картах (рис. 73). Это позволяет проводить анализ передвижений.

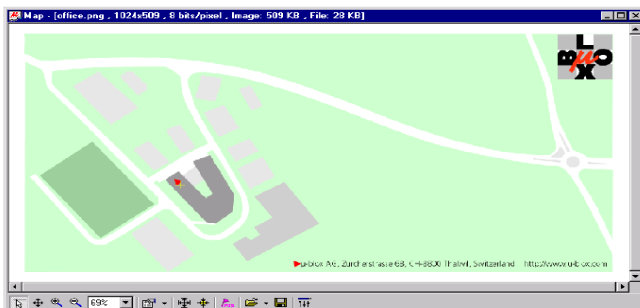


Рис. 73. Отображение позиции

Окно просмотра неба – отличное средство для анализа работы антенн, условий спутникового наблюдения (рис. 74). Полярный график наглядно показывает средний относительный уровень сигнала спутника и позицию спутников в небе,

идентифицирует количество спутников и те спутники, которые приемник использует при вычислениях.

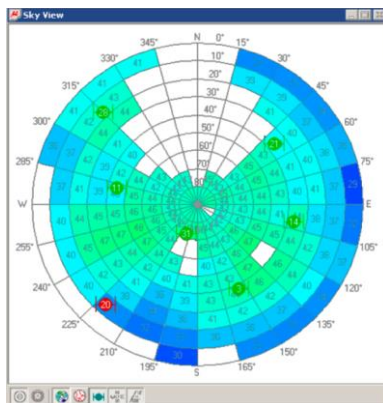


Рис. 74. Окно просмотра неба

3.3. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ И УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

Перед началом выполнения цикла работ необходимо осуществить следующие действия:

1. Включить компьютер и дождаться полной загрузки операционной системы Windows.

2. Установить переключатель режима работы модуля GPS (рис. 63) в верхнее положение, что соответствует штатной работе модуля.

3. Используя USB-кабель соединить модуль GPS с компьютером, при этом питание модуля будет осуществляться от компьютера. Операционная система должна сама определить тип периферийного устройства и назначить соответствующий COM-порт.

4. Используя программное меню «Панель управления» операционной системы Windows, определить номер назначенного COM-порта для GPS-модуля.

5. Подключить необходимую антенну к коаксиальному разъему GPS-модуля.

Внимание! Миниатюрный коаксиальный разъем является хрупким высокочастотным устройством и при соединении не следует прикладывать значительных усилий.

6. Запустить программу U-center GPS Evaluation, предназначенную для работы со специализированной микросхемой «Ublox нео m6» модуля GPS.

Основное окно программы U-center GPS Evaluation имеет вид представленный на рис. 75.

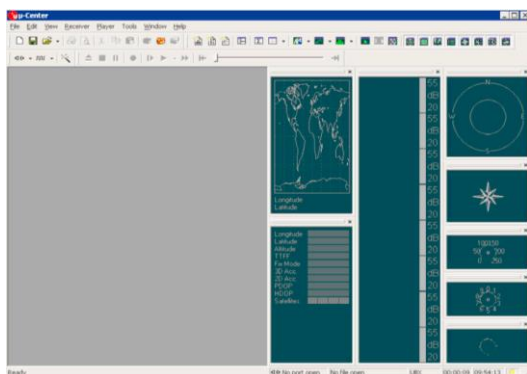


Рис. 75. Вид программы U-center GPS Evaluation

U-center сохраняет установки того соединения, которое использовалось в последней конфигурации при запуске программы. Однако при первом запуске необходимо инициализировать COM-порт. Обычно для этого используется Receiver Tool Bar.

Обратите внимание, u-center поддерживает только установки COM-порта, которые будут приведены ниже. Все u-blox GPS-приемники имеют следующую начальную конфигурацию:

- четность: нет;
- биты данных: 8;
- стоп биты: 1;

– управление потоком: нет.

7. После нажатия на кнопку подключение/отключение необходимо выбрать желаемый COM-порт.

8. Затем выбираем кнопку установки скорости вручную или автоматической установки, выбираем скорость передачи данных. После проделанных операций окно программы будет выглядеть как на рис. 76.

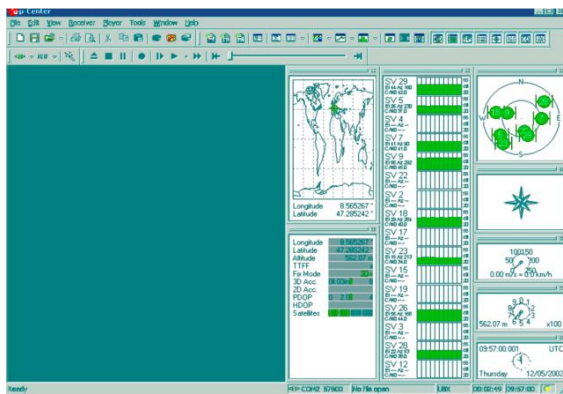


Рис. 76. Программа после успешного соединения

3.4. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ И УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

Оценка эффективности приема различных типов спутниковых антенн

Выполнение работы:

1. Включить компьютер и дождаться полной загрузки операционной системы Windows.

2. Установить переключатель режима работы модуля GPS (рис. 63) в верхнее положение, что соответствует штатной работе модуля.

3. Используя USB-кабель, соединить модуль GPS с компьютером, при этом питание модуля будет осуществлять-

ся от компьютера.

4. Запустить программу U-center GPS Evaluation.

5. Подключить штыревую антенну к коаксиальному разъему модуля спутниковой навигации.

Примечание: При выполнении лабораторных заданий внутри помещения следует учесть, что потолочные перекрытия и крыша значительно ослабляют сигнал и наилучший прием будет в условиях максимально открытого неба. В следствие этого, рекомендуется располагать приемную антенну в максимальной близости к окнам (например, на подоконнике).

6. После обнаружения сигналов спутников и расчета текущих координат, на экран окна визуализации будет выведена гистограмма отношения сигнал/шум сигналов наблюдаемых спутников. Выбрать несколько наиболее интенсивных спутников и занести их уровни сигнала в отчет.

7. Затем провести оценку пространственных характеристик диаграммы направленности. Для этого надо сориентировать антенну в различных направлениях к горизонту (например, горизонтально и вертикально), наблюдать за уровнем сигналов спутников. Сделать вывод о форме диаграммы направленности антенн.

8. Провести аналогичные исследования для керамической микрополосковой антенны и активной антенны. Обратить внимание, что у керамической и активной антенны наблюдается характерный минимум диаграммы при ориентации антенны перпендикулярно к линии горизонта. Сделать выводы о форме диаграммы направленности антенн и занести их в отчет.

Для того, чтобы провести оценку влияния экранировки антенн на уровень сигналов спутниковой связи, необходимо:

1. Подключить активную антенну к коаксиальному разъему модуля спутниковой навигации. Расположить активную антенну модуля в доступной зоне максимального

сигнала спутников (например, вблизи окна, на подоконнике). Наблюдая за окном визуализации уровня сигналов U-center GPS Evaluation, зафиксировать в отчете сигнал наиболее интенсивного спутника. Затем каким-либо образом экранировать активную антенну (например, завернуть в металлическую фольгу или накрыть широкой металлической пластиной). Зафиксировать текущий уровень сигнала и занести его в отчет.

Примечание: В случае значительной мощности принимаемых сигналов спутника, даже полная экранировка антенны не сможет нарушить процедуру местоопределения, поскольку в качестве антенны уже будет выступать протяженный кабель активной антенны и даже проводники дорожек модуля спутниковой навигации.

2. Сделать выводы о влиянии экранировки антенны на уровень сигналов спутника и занести их в отчет.

Оценка точности определения координат

Рекомендуется задание выполнять на улице, на открытой местности с максимальным обзором неба.

Выполнение работы:

1. Включить компьютер и дождаться полной загрузки операционной системы Windows.

2. Установить переключатель режима работы модуля GPS (рис. 63) в верхнее положение, что соответствует штатной работе модуля.

3. Используя USB-кабель, соединить модуль GPS с компьютером, при этом питание модуля будет осуществляться от компьютера.

4. Запустить программу U-center GPS Evaluation.

5. Подключить штыревую антенну к коаксиальному разъему модуля спутниковой навигации.

6. Зафиксировать текущие координаты в отчет. Затем, используя компас и измеряя расстояние рулеткой (компас и

рулетка в комплект поставки не входят) перейти строго на ЮГ на 10 м. Зафиксировать текущие расчетные координаты широты и долготы. Зафиксировать уровни сигналов спутников.

7. Затем переместится строго на ВОСТОК на 10 м. Записать текущие координаты широты и долготы. Зафиксировать уровни сигналов спутников.

8. Провести аналогичные исследования для керамической микрополосковой антенны и активной антенны.

9. Рассчитать погрешность определения координат в условиях применения антенн с различной эффективностью (при разных отношениях сигнал/шум сигналов спутников).

10. сделать вывод о влиянии уровня сигналов спутников на точность определения координат местоположения.

Анализ кодограмм обмена информацией спутникового модуля навигации

Выполнение работы:

1. Включить компьютер и дождаться полной загрузки операционной системы Windows.

2. Установить переключатель режима работы модуля GPS (рис. 63) в верхнее положение, что соответствует штатной работе модуля.

3. Используя USB-кабель, соединить модуль GPS с компьютером, при этом питание модуля будет осуществляться от компьютера.

4. Запустить программу U-center GPS Evaluation.

5. Подключить активную антенну к коаксиальному разъему модуля спутниковой навигации.

6. Наблюдать кодограммы обмена информации в программном окне U-center GPS Evaluation. При необходимости, нажав программную кнопку «Off», возможно остановить обмен сообщениями (то есть остановить «прокрутку» кодо-

грамм в окне сообщений).

7. Занести в отчет следующие типы кодограмм:

\$GPRMC;

\$GPVTG;

\$GPZDA;

\$GPGGA;

\$GPGLL;

\$GPGSA;

\$GPGSV.

8. Расшифровать текст кодограммы следуя описанному ниже шаблону.

9. Кодограммы модуля обладают следующей структурой:

Все сообщения начинаются с символов «\$GP», затем идет 3 символа идентификатора формата сообщения. Данные в сообщении разделяются запятыми, нули не опускаются. В конце может находиться контрольная сумма после символа «*». Контрольная сумма восьмибитная (исключающее ИЛИ, XOR) всех символов сообщения, включая пробелы, расположенных между разделителями «\$» и «*», не включая последних.

Список сообщений NMEA-протокола:

1. Кодограмма RMC передает информацию о текущем времени, координатах, направлении курса и скорости перемещения.

Пример полученной кодограммы:

\$GPRMC,120045.000,A,5451.2489,N,03641.5963,E,0.31,78.60,150518,,A*51

Расшифровка кодограммы:

– 120045.000 – время в формате ЧЧММСС (12:00:45);

– A – достоверные данные, V – недостоверны;

– 5451.2489, N – северная широта (S – южная) (ГГММ.ММ – первые 2 цифры – градусы; 2 следующие целые минуты, затем десятичная часть);

03641.59637, E – восточная долгота (W – западная долгота) (ГТГММ.ММ – первые 3 знака градуса, далее минуты);

– 0.31 – скорость (узлов в час);

– 78.60 – путевой угол (направление скорости) в градусах. Число с плавающей точкой. Целая и дробная части переменной длины. Значение равное 0 соответствует движению на север, 90 – восток, 180 – юг, 270 – запад;

– 150518 – дата в формате ДДММГГ (15.05.2018);

– магнитное склонение в градусах, рассчитанное по некоторой модели, отсутствует;

– направление магнитного склонения, отсутствует;

– A – режим: «A» – автономный, «D» – дифференциальный, «E» – аппроксимация, «N» – недостоверные данные;

– *51 – контрольная сумма.

2. Кодограмма VTG содержит текущее истинное направление курса (COG) и скорость относительно земли (SOG).

Пример кодограммы:

\$GPVTG,78.60,T,,M,0.31,N,0.57,K,A*07

Расшифровка кодограммы:

– 78.60,T — направление курса в градусах;

– M – магнитное склонение в градусах, отсутствует;

– 0.31,N — скорость (узлов в час);

– 0.57,K — скорость (км в час);

– A - достоверность данных;

– *51 — контрольная сумма.

3. Кодограмма ZDA содержит информацию о времени по UTC, календарный день, месяц, год и локальный часовой пояс.

Пример кодограммы:

\$GPZDA,120045.000,15,05,2018,+3,*55

Расшифровка кодограммы:

– 120045.000 – время в формате ЧЧММСС;

- 15 — число;
- 05 — месяц;
- 2018 — год;
- Часовой пояс, смещение от UTC, от 00 до ± 13 часов, соответствует Московскому часовому поясу (+3);
- *55 – контрольная сумма.

4. Кодограмма GGA содержит GPS-данные о местоположении, времени, качестве данных, количестве использованных спутников.

Пример кодограммы:

\$GPGGA,120045.000,5451.2489,N,03641.5963,E,1,9,1.34,120.0,M,14.6,M,,*54

Расшифровка кодограммы:

- 120045.000 – время в формате ЧЧММСС;
- 5451.2489,N – широта;
- 03641.5963,E – долгота;
- 1 – GPS fix (0 = Данные не верны, 1 = Позиция зафиксирована, 2 = DGPS (повышенная точность));
- 9 – количество используемых в данный момент спутников;
- 1.34 – HDOP, горизонтальная точность;
- 120.0,M — высота над уровнем моря;
- 14.6,M — геоидальное различие – различие между земным эллипсоидом WGS-84 и уровнем моря (геоидом);
- время с момента последнего обновления DGPS, отсутствует;
- *54 – контрольная сумма.

5. Кодограмма GLL содержит GPS-данные о географической широте, долготе и времени определения координат.

Пример кодограммы:

\$GPGLL,5451.2489,N,03641.5963,E, 120045.000,A,A*59

Расшифровка кодограммы:

- 5451.2489,N – широта;
- 03641.5963,E – долгота;

- 120045.000 – UTC на момент определения местоположения;
- A – данные верны;
- *59 – КС.

6. Кодограмма GSA содержит режим работы GPS-приёмника, параметры спутников, используемых при решении навигационной задачи.

Пример кодограммы:

\$GPSA,A,3,27,17,26,18,09,28,15,08,,,,,2.35,1.34,1.93*0A

Расшифровка кодограммы:

- A – режим (M – Manual, forced to operate in 2D or 3D, A – авто 3D/2D);
- 3 – режим (1 – нет фиксации, 2=2D, 3=3D);
- 3...14 – Идентификаторы SVs (используется для фиксации позиции);
- 2.35 – идентификатор PDOP (снижение точности по местоположению);
- 1.34 – идентификатор HDOP (снижение точности в горизонтальной плоскости);
- 1.93 – VDOP (снижение точности в вертикальной плоскости).

7. Кодограмма GSV указывает количество видимых спутников, их номера, возвышение, азимут, и значение отношения сигнал/шум для каждого из них.

Пример кодограммы:

\$GPGSV,4,1,13,28,65,075,17,26,53,202,37,15,50,278,17,27,39,290,24*7D

Расшифровка кодограммы:

- 4 – полное число сообщений (от 1 до 9);
- 1 – номер сообщения (от 1 до 9);
- 13 – полное число видимых спутников;
- 28 – PRN номер спутника;
- 65 – высота, градусы, (90° — максимум);
- 075 – азимут истинный, градусы (от 000° до 359°);

- 17 – отношение сигнал/шум (от 00 до 99 дБ, нуль – когда нет сигнала);
- 26,53,202,37, то же самое для 2 спутника;
- 15,50,278,17, то же самое для 3 спутника;
- 27,39,290,24, то же самое для 4 спутника;
- *7D – контрольная сумма.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите типы спутниковых антенн. Их различия и особенности.
2. От чего зависит эффективность приема спутниковых антенн?
3. Перечислите основные методы местоопределения источников радиоизлучения. Их преимущества и недостатки.
4. Какие в настоящий момент есть методы оценки эффективности местоопределения источников излучения?
5. Что такое NMEA-протокол?

Заключение

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Robert W. Stewart, Kenneth W. Barlee, Dale S. W. Atkinson, Louise H. Crockett «Software Defined Radio using MATLAB® & Simulink® and the RTL-SDR» / Department of Electronic and Electrical Engineering University of Strathclyde Glasgow, Scotland, UK, 1st Edition (revised);

2. Akshaya Kumar Nayak «Spectrum sensing & Signal identification Using RTL-SDR» / Department of Electronics & Communication Engineering National Institute of Technology Rourkela.

3. Кравченко В. М. Разбираемся с RTL SDR на основе RTL2832 + R820T. [Электронный ресурс]. – URL: <http://blog.kvv213.com/2016/02/razbiraemysya-s-rtl-sdr-na-osnove-rtl2832-r820t/>.

4. Laufer C. The Hobbyist's Guide to the RTL-SDR: Really Cheap Software Defined Radio //RTLSDR. com. – 2014. – Т. 4.

5. Благовещенский Д. В. «Анализ, оценка и прогноз состояния канала распространения коротких радиоволн в высоких широтах» автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург. 2007

6. Теория и практика падающих томагавков. Размышления двух докторов наук о природной слабости спутниковой радионавигации. «Компьютера», сентябрь 2000. Электронный ресурс <http://www.x-libri.ru/elib/kashn001/00000001.htm>

7. Шебшаевич В. С., Дмитриев П. П., Иванцев Н. В. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / Под ред. В. С. Шебшаевича. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1993. — 408 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Лабораторная работа № 1. Определение местоположения базовых станций диапазона GSM 900	4
1.1. Общие указания	4
1.2. Необходимые теоретические сведения	5
1.3. Домашнее задание и указания по его выполнению	20
1.4. Лабораторное задание и указания по его выполнению	21
Контрольные вопросы.....	30
2. Лабораторная работа № 2. Радиомониторинг движения воздушных объектов. Технология ads-b	31
2.1. Общие указания.....	31
2.2. Необходимые теоретические сведения	32
2.3. Домашнее задание и указания по его выполнению	44
2.4. Лабораторное задание и указания по его выполнению	44
Контрольные вопросы.....	61
3. Лабораторная работа № 3. Изучение комплекта учебного оборудования «Системы спутниковой навигации GPS-NOTE»	62
3.1. Общие указания	62
3.2. Необходимые теоретические сведения	63
3.3. Домашнее задание и указания по его выполнению	75
3.4. Лабораторное задание и указания по его выполнению	77
Контрольные вопросы.....	85
Заключение	85
Библиографический список	87

Учебное издание

**Федоров Сергей Михайлович
Сиваш Михаил Александрович
Володько Александр Владиславович
Бойко Олег Валерьевич**

**РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
И КОМПЛЕКСЫ**

Лабораторный практикум

Рисунок на обложке выполнен Сиваш М. А.

Компьютерный набор: О. В. Бойко, М. А. Сиваш,
Е. А. Ищенко

Подписано в печать 18.09.2019.

Формат 60×84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 5,1. Тираж 350 экз. Заказ № 34.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

394026 Воронеж, Московский проспект, 14

Участок оперативной полиграфии издательства ВГТУ

394026 Воронеж, Московский проспект, 14