

УДК 004.428.4

РАЗРАБОТКА ПРИЁМНОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Зюзин Владислав Дмитриевич

Магистрант 2-ого курса

Московский Технический Университет связи и Информатики

Россия, Москва

Куприков Олег Дмитриевич

Магистрант 1-ого курса

Московский Технический Университет связи и Информатики

Россия, Москва

Хорошенький Юрий Андреевич

Магистрант 2-ого курса

Московский Технический Университет связи и Информатики

Россия, Москва

Аннотация

В настоящее время транспортные средства становятся неотъемлемой частью в жизни любого человека. Повсеместно используются службы доставки, каждый из нас пользовался службами такси. Все более популярными становятся службы «каршеринга». Беспрекословное выполнение обязанностей и соблюдение правил сотрудниками или пользователями сервиса напрямую влияет на экономическую составляющую предприятия.

В рамках данной работы разрабатывается приемная часть для оборудования системы оперативного мониторинга транспортных средств, для отслеживания и контроля сотрудников автотранспортных предприятий.

В первом разделе описываются основные проблемы, которые может решить автотранспортное предприятие, используя разрабатываемое оборудование для системы мониторинга.

Во втором разделе описывается используемый для передачи сообщений и создания самоорганизующейся сети протокол VDL Mode 4, а также методы его модернизации.

В третьем разделе представлена разработанная функциональная схема, а также подробное описание функции каждого элемента в схеме.

В четвертом разделе разработана электрическая схема, предоставлен список всех элементов, а также подробное описание основных составляющих приведенной электрической схемы.

В пятом разделе представлен конечный проект, состоящий из нескольких программ. Приведен листинг и описание работы каждой программы.

Ключевые слова: система мониторинга, оборудование, прием, информация, самоорганизующаяся сеть, протокол, функциональная схема, электрическая схема, процессор, кодек, трансивер, ОЗУ, аналоговый сигнал, цифровой сигнал, генератор, фильтр, КИХ, демодулятор, АЦП, программа, транспортное средство, транспорт, предприятие, оценка, производительность, ADSP-2181, Analog Devices, VDL Mode4, ADS-B, DSP, VisualDSP.

DEVELOPMENT OF THE RECEIVING PART OF THE VEHICLE MONITORING SYSTEM

Vladislav D. Zyuzin

2nd year Master's student

Moscow Technical University of Communications and Informatics

Russia, Moscow

Oleg D. Kuprikov

1st year Master's student

Moscow Technical University of Communications and Informatics

Russia, Moscow

Yuri A. Khoroshenkiy

2nd year Master's student

Moscow Technical University of Communications and Informatics

Russia, Moscow

ABSTRACT

Currently, vehicles are becoming an integral part of any person's life. Delivery services are widely used, and each of us has used taxi services. "Car sharing" services are becoming more and more popular. Unquestioning performance of duties and compliance with the rules by employees or users of the service directly affects the economic component of the enterprise.

As part of this work, a receiving part is being developed for the equipment of an operational vehicle monitoring system, for tracking and controlling employees of motor transport enterprises.

The first section describes the main problems that a road transport company can solve using the developed equipment for the monitoring system.

The second section describes the VDL Mode 4 protocol used for sending messages and creating a self-organizing network, as well as methods for upgrading it.

The third section presents the developed functional diagram, as well as a detailed description of the function of each element in the diagram.

In the fourth section, an electrical circuit is developed, a list of all the elements is provided, as well as a detailed description of the main components of the given electrical circuit.

The fifth section presents the final project consisting of several programs. A listing and description of the operation of each program is provided.

Keywords: monitoring system, equipment, reception, information, self-organizing network, protocol, functional circuit, electrical circuit, processor, codec, transceiver, RAM, analog signal, digital signal, generator, filter, FIR, demodulator, ADC, program, vehicle, transport, enterprise, evaluation, performance, ADSP-2181, Analog Devices, VDL Mode4, ADS-B, DSP, VisualDSP.

Введение

В настоящее время транспортная отрасль играет огромную роль для экономики, так как для многих предприятий работающих с автопарком организация транспортной сети будет влиять на производительность компании в целом. В этих целях автопарк должен быть оборудован системой мониторинга для постоянного отслеживания сотрудников и управления транспортной сетью.

Разрабатываемое в дипломном проекте оборудование представляет собой систему мониторинга, работающую на базе сигнального процессора ADSP-2181, реализующую приём и передачу информации через GNSS, а также шифрование и дешифрование с использованием протокола RSA с аутентификацией, что повышает безопасность и конфиденциальность передаваемой информации. Данная система генерирует информацию, содержащую координаты, один раз в пять секунд, что в свою очередь значительно повышает точность определения положения каждого транспортного средства. Оборудование имеет возможность сохранения таких параметров транспортного средства, как координаты, время и скорость для отслеживания маршрутов и времени передвижения. Так же возможно расширение функционала системы, так как оборудование может быть дополнительно подключено к любой системе транспортного средства. Основной особенностью данной системы мониторинга является организация сети, так как информация передаётся не на один терминал, а рассылается на каждое оборудование в сети, что позволяет водителям видеть друг друга в режиме реального времени.

Цель данной дипломной работы заключается в разработке принимающей части системы мониторинга транспортных средств, в которой реализуется приём сообщения, обработка его фильтром для очистки сигнала от шумов, демодуляции полученного сигнала и сохранением полученной информации в памяти процессора ADSP-2181.

В первом разделе подробно описываются различные проблемы и ситуации, с которыми сталкиваются владельцы автопарков и то, как системы оперативного мониторинга транспортных средств помогают решать эти проблемы.

Во втором разделе представлено описание и структура сети, в которой работает разрабатываемая система мониторинга транспортных средств. Особое внимание уделено такой возможности, как реализация самоорганизующейся сети.

В третьем разделе представлена функциональная схема приемной части системы оперативного мониторинга транспортных средств, а также подробное описание каждого элемента схемы.

В четвёртом разделе подробно рассматривается электрическая схема приемной части системы оперативного мониторинга транспортных средств и ее элементов.

В пятом разделе представлена реализация прикладного алгоритмического и программного обеспечения приемной части системы оперативного мониторинга транспортных средств. Рассматривается реализация используемого фильтра и его характеристик, а также кода программы для процессора ADSP-2181.

В заключении сделаны выводы по результатам проделанной работы и представлен план реализации и дальнейшего развития разрабатываемой системы мониторинга транспортных средств.

Разработка системы оперативного мониторинга транспортных средств на базе самоорганизующейся сети

Оборудование для разрабатываемой в данной работе системы оперативного мониторинга транспортных средств выполняет приём и передачу информации в самоорганизующейся сети. Самоорганизующаяся сеть – сеть, которая не обладает постоянной структурой и имеет возможность изменения и распределения функций между узлами, в роли которых выступает разрабатываемое оборудование. Изменения и перераспределения происходят в случае обновления состояния сети: подключение нового устройства к сети, отключение устройства от сети, изменение плотности передаваемого трафика и т. д. Используемая самоорганизующаяся сеть, структура которой представлена на рисунке 1, позволяет осуществлять приём, передачу и ретрансляцию информации с каждого оборудования в сети. Передача информации происходит в пакетном режиме, каждый пакет, передаваемый с оборудования, содержит необходимую информацию о транспортном средстве, такую как: номер транспортного средства, координаты, скорость по GPS, уровень топлива и дополнительные параметры. Каждый параметр на выходе процессора представляется в двоичном коде, и занимает в пакете определённое место для корректного чтения информации на принимающем оборудовании.

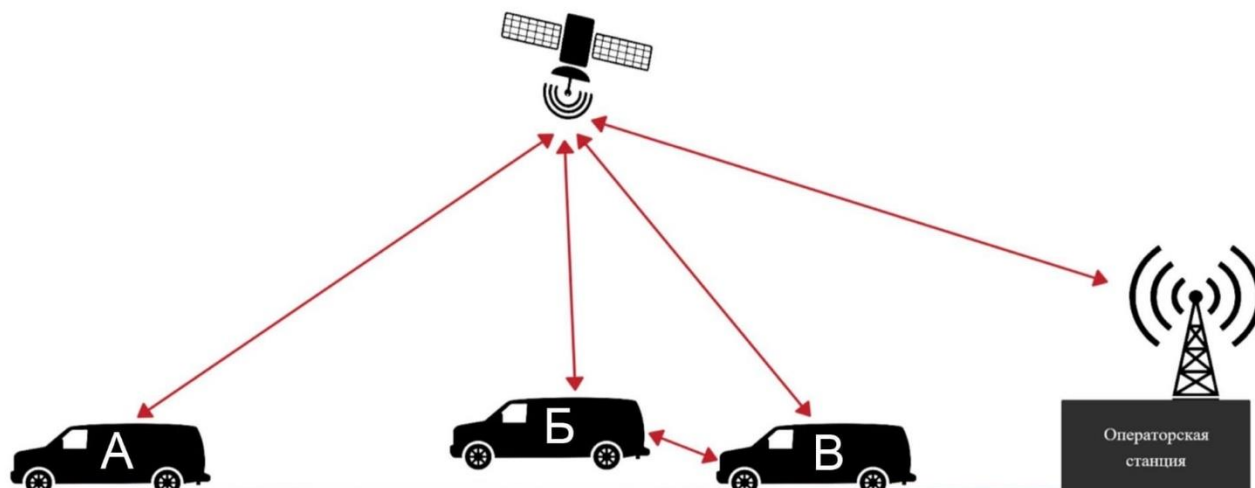


Рисунок 1. Структура самоорганизующейся сети

Преимущества используемой самосинхронизирующейся сети:

1) Надежность. В случае потери прямой связи транспортного средства с операторской станцией, информация будет передаваться через соседние транспортные средства, организуя косвенную связь с операторской станцией. Сценарий надежности приведён на рисунке 2, на котором иллюстрируется обрыв прямого соединения транспорта А со спутником по причине переполнения канала или нарушения синхронизации, но связь со спутником была восстановлена с использованием косвенного маршрута через транспорт Б.

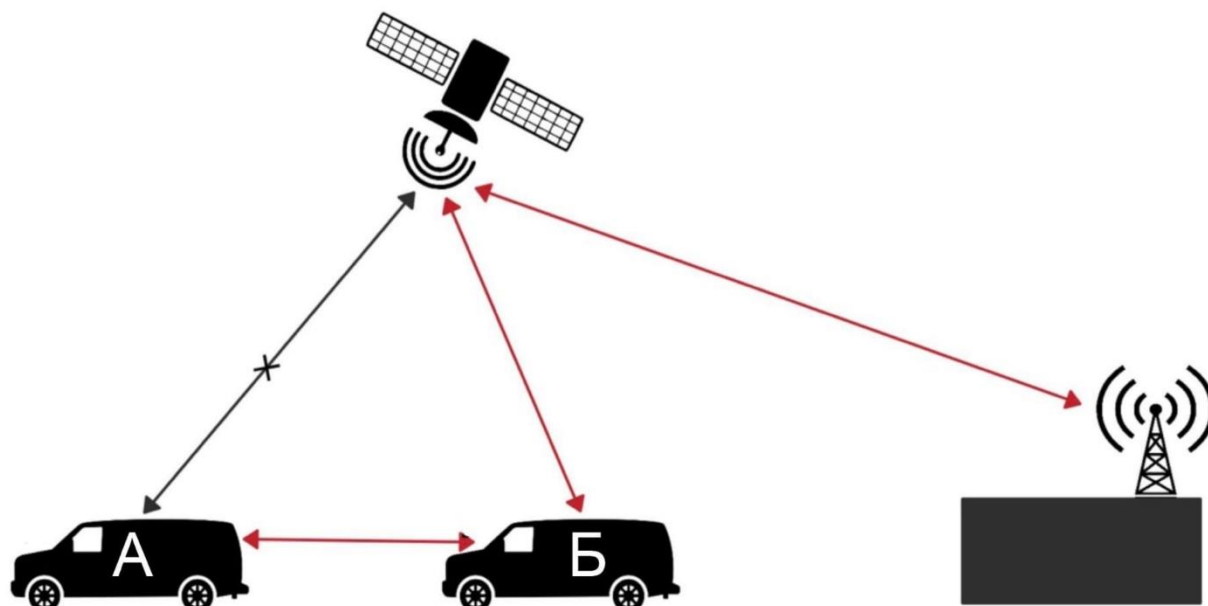


Рисунок 2. Обеспечение надёжности сети

2) Безопасность. Используемая сеть передаёт информацию в зашифрованном виде, посредством реализации в системе системы шифрования RSA с аутентификацией, что позволяет избежать чтение передаваемой информации сторонними устройствами, а также позволяет определять устройства, от которых передаётся сообщение, как «свой» или «чужой». Сценарий безопасности приведён на рисунке 3. Иллюстрация показывает успешное соединение между «своими» транспортными средствами, но на запрос к подключению от «чужого» транспортного средства поступает отказ и игнорирование постороннего транспорта.

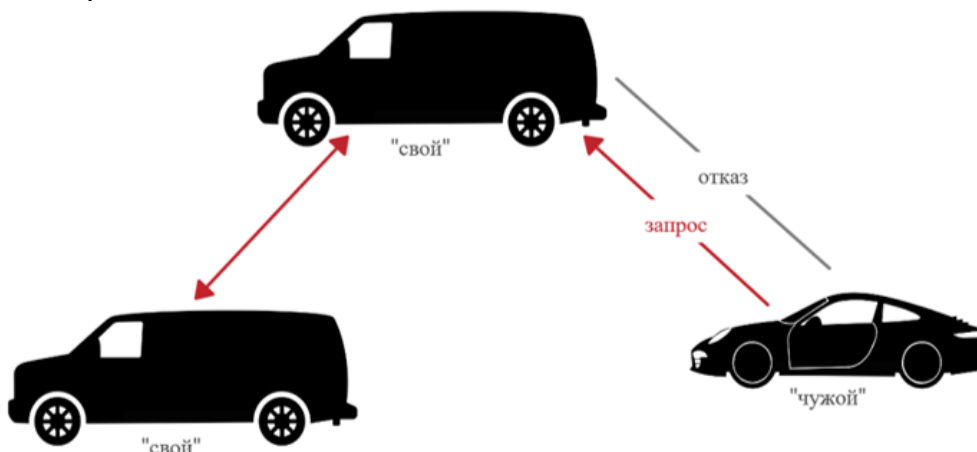


Рисунок 3. Обеспечение безопасности сети

3) Масштабируемость и изменение структуры. Функция самоорганизации позволяет в автоматическом режиме изменять структуру сети, добавляя или убирая узлы. Таким образом, сеть не имеет сдерживающих факторов, которые могут ограничить максимальное количество приемопередающих станций, может обрабатывать ситуации, связанные с перегрузкой канала, перенаправляя потоки данных, что обеспечивает приспособление к передаваемому трафику. На рисунке 4 представлена ситуация в которой транспортные средства Б, В и Г не имеют возможности напрямую связаться со спутником, и автомобиль А ретранслирует их пакеты на спутник. В этой ситуации оборудование на

транспорте А оказывается перегруженным из-за большого количества ретранслируемой информации, поэтому принимается решение отсоединить автомобиль Д от автомобиля А, так как транспорт Д не имеет проблем с прямой связью со спутником и может передавать свои данные через него.

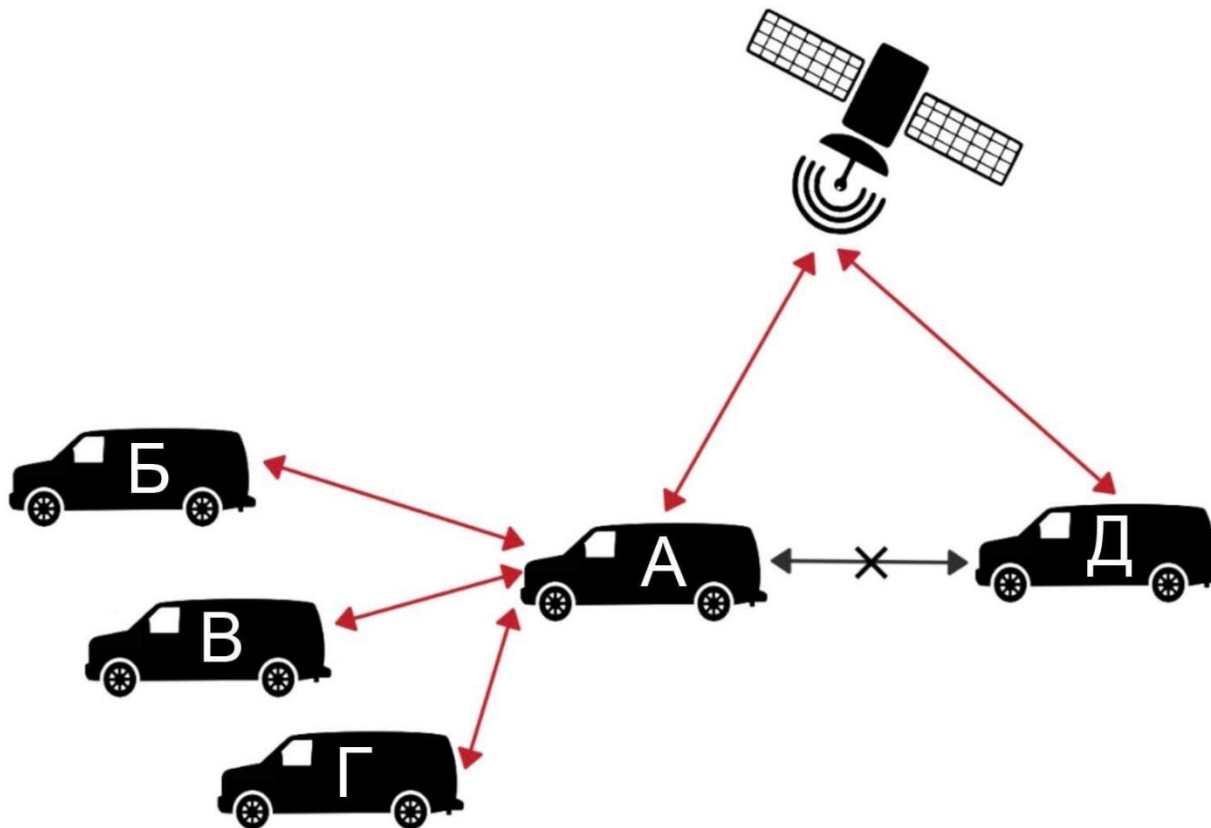


Рисунок 4. Обеспечение масштабируемости сети

4) Приоритетность. В случае необходимости передачи неотложного сообщения, то есть сообщения наивысшего приоритета, самоорганизующаяся сеть в автоматическом режиме выберет путь с наименьшим количеством узлов с учетом загруженности каналов в сети. Рисунок 5 иллюстрирует возникновение непредвиденной ситуации на транспорте (проблемы с двигателем) и показывает путь с наименьшим количеством узлов, передавая сообщение высшего приоритета без задержки и вне очереди.

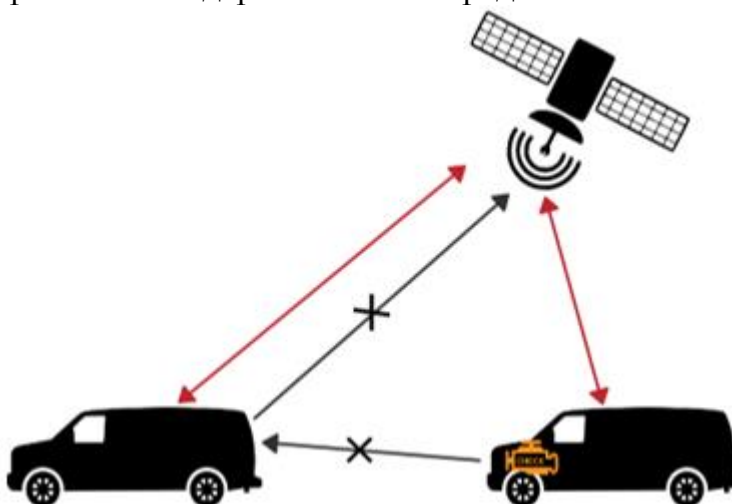


Рисунок 5. Обеспечение приоритетности в сети

Самоорганизующаяся сеть с применением протокола VDL Mode 4

Для реализации самоорганизующейся сети в системе оперативного мониторинга транспортных средств было принято решение использовать модифицированный протокол VDL Mode 4. Very High Frequency (VHF) Data Link (VDL) Mode 4 используется для выполнения операций установления связи, навигации и наблюдения и позволяет обеспечивать цифровую связь между мобильными станциями (оборудование на транспорте), а также между мобильной станцией и наземной станцией (операторское оборудование).

VDL Mode 4 передаёт цифровые данные по стандартному каналу связи VHF в полосе 25 кГц и использует протокол с временным разделением доступа (TDMA) [1]. Time Division Multiple Access (TDMA) – это система, которая разбивает канал связи на сегменты. Сегменты состоят из суперфреймов длительностью в одну минуту (одноминутный суперфрейм), а каждый суперфрейм состоит из 4500 временных слотов длительностью 13,33 мс, которые определяют наиболее удачное время для передачи информации с оборудования. Структура, описанного суперфрейма, представлена на рисунке 6.

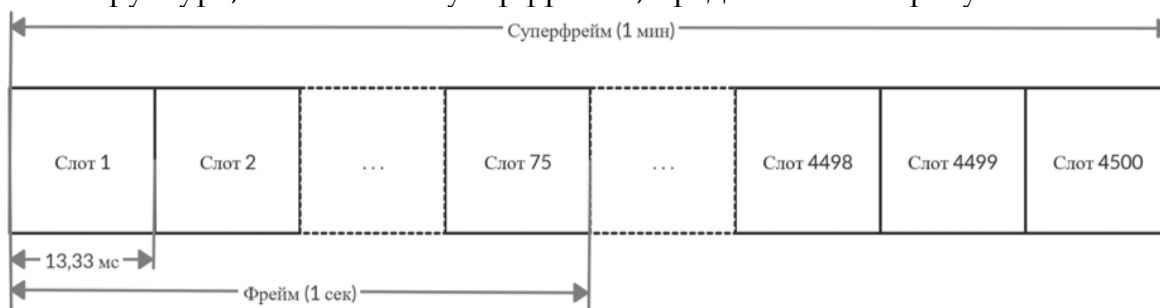


Рисунок 6. Структура суперфрейма

Стоит отметить, что разделение доступного времени передачи информации на большое количество коротких временных слотов является одной из основных возможностей используемого протокола VDL Mode 4. Эта возможность позволяет намного повысить эффективность использования каналов передачи для всей системы, а также уменьшает количество ошибок и нагрузку на оборудование, так как исключает одновременную передачу данных несколькими устройствами. Кроме того, использование системы TDMA позволяет организовать в протоколе VDL Mode 4 функцию самоорганизации и автономности. Это связано с тем, что суперфреймы ретранслируются по всем доступным в сети устройствам, а так как каждое устройство помещает свои данные в установленные для него временные слоты, эти данные может принять любое устройство, что в свою очередь избавляет от необходимости прямой связи с операторской станцией, а также полностью пропадает нужда в использовании наземных станций для приёма и дальнейшей передачи информации оператору.

Корректная работа протокола VDL Mode 4 с применением системы TDMA возможна только в случае точной синхронизации слотов суперфрейма. Синхронизация начальной и конечной точек временного слота происходит на каждом оборудовании в системе посредством рассылки информации от сети точного времени (UTC) через ГЛОНАСС или GPS. Universal Coordinated Time (UTC) – это всемирный стандарт, который применяется для регулирования и точной настройки времени. Этот стандарт не имеет часовых поясов или переходов на летнее время, следовательно, время стандарта UTC одинаково в любой точке мира.

Работу протокола VDL Mode 4 можно пояснить, исследовав основные функциональные элементы:

1) Физический уровень. Определяет необходимый тип модуляции, применяемый на разрабатываемом оборудовании, для кодирования информации, которую содержит каждый временной слот.

2) Структура фреймов в методе TDMA. Самая маленькая ячейка – это временной слот. Далее идёт фрейм, который содержит 75 слотов. Самый большой кадр – суперфрейм, содержащий 60 фреймов или 4500 временных слотов. Каждый слот может быть использован для приёма или передачи информации на каждом оборудовании в системе. Один слот содержит одно сообщение от оборудования, при условии передачи только данных о местоположении. При передаче большого количества данных может быть использовано несколько слотов, но не больше 75 слотов (фрейма).

3) Отсчёт времени в системе оперативного мониторинга. Используется для синхронизации границ временных слотов, а также для синхронизации транспортных средств с операторской станцией. Кроме синхронизации времени по стандарту UTC поддерживает передачу в аварийном режиме, при котором синхронизация происходит по использованию наилучшего времени по оценке оборудованием. В этом режиме оборудование производит максимально точную аппроксимацию для уменьшения дисбаланса своей временной карты слотов с картой соседних устройств.

4) Информация о местоположении. В данном протоколе информация о текущем местоположении транспортного средства используется для управления доступом к каналу передачи. В случае приближения двух устройств друг к другу на определенное расстояние, принимается решение настроить канал приёма-передачи между ними, что относится к функции самоорганизации.

5) Выбор слота. Данный функциональный элемент протокола является одним из самых важных, для реализации корректной работы всей системы. Применяется для выбора слотов для новой передачи сообщения. При наличии свободного канала поиск свободного слота выполняется простой операцией перебора, пока не будет найден незарезервированный слот. При увеличении занятости канала и, как следствие, отсутствие незанятых слотов VDL Mode 4 позволяет устройству выбрать неиспользуемый, но ранее зарезервированный другим устройством слот. Так же этот элемент даёт возможность не только распределять слоты между устройствами через операторскую станцию, но и распределять временные слоты в автоматическом режиме в обход операторской станции, что так же влияет на функцию самоорганизации.

Модификация протокола VDL Mode 4

Изначально протокол VDL Mode 4 применяется для организации системы оперативного мониторинга воздушного транспорта, это связано с тем, что данный протокол позволяет принимать и передавать большое количество информации с большого количества устройств, а синхронизация временных слотов по UTC позволяет собирать одновременно данные с устройств в разных точках мира. Особенность формирования пакетов данных с воздушного судна заключается в том, что помимо координат и состояния судна, оборудование производит расчёт пути, основываясь на текущей скорости и вектору направления, что позволяет определить не только настоящее положение самолета, но и проанализировать его положение в будущем. Поэтому для реализации данного протокола для наземных транспортных средств, требуется его модификация. Были изменены ключевые параметры передачи данных данного протокола, а именно:

1) Уменьшение скорости генерации информации. В протоколе VDL Mode 4 для воздушного транспорта генерация пакетов данных от каждого устройства происходит 1 раз в секунду, такое частое обновление информации связано с высокой скоростью

передвижения самолетов. Исходя из средней скорости передвижения транспортного средства в городе, равной 60 км/ч, и средней скорости передвижения по трассе, равной 100 км/ч, было принято решение увеличить период генерации пакетов данных до 1 раза в 5 секунд. Использование такой скорости генерации позволит отслеживать маршрут транспортного средства с обновлением информации каждые 83,35 м и 138,9 м соответственно скоростям. Данная задержка вполне допустима для корректного отслеживания маршрута.

2) Уменьшение количество бит в секунду для передачи информации. Протокол VDL Mode 4 для воздушного транспорта использует 1600 бит/с для передачи пакетов каждого оборудования в сети, такой объём передаваемой информации в первую очередь связан с большим количеством передаваемых данных, как для отслеживания, так и для прогнозирования. Для работы с транспортными средствами было решено использовать 800 бит/с для передачи информации с каждого оборудования в сети, так как для корректного отслеживания наземного транспорта требуется меньше данных, чем для воздушного транспорта, кроме того исходя из относительно небольшой скорости передвижения пропадает необходимость прогнозирования будущего положения.

3) Изменение типа применяемой фазовой модуляции. В системе мониторинга воздушного транспорта в оборудовании применяется квадратурная фазовая модуляция Quadrature Phase Shift Keying (QPSK). Основным преимуществом данного вида модуляции является кодирование двух бит передаваемой информации одним символом. Для реализации протокола VDL Mode 4 для наземного транспорта была применена более простая, двоичная фазовая модуляция Binary Phase Shift Keying (BPSK). Данный тип модуляции является одним из самых распространённых и простых в реализации, обладает высокой помехоустойчивостью, но в два раза медленнее по сравнению с QPSK, так как для модуляции используется один канал и как следствие один символ обрабатывает каждый бит последовательно.

Таким образом, в данной работе путём изменений таких характеристик, как: скорость передачи данных, скорость генерации информации и тип фазовой модуляции получилось реализовать протокол VDL Mode 4, применяемый для управления воздушного транспорта, для работы с разрабатываемым оборудованием.

Автоматическое Зависимое Вещательное Наблюдение (ADS-B)

Основным преимуществом протокола VDL Mode 4, которое позволяет реализовывать самоорганизующиеся сети, является применение в рамках данного протокола системы Автоматического Зависимого Вещательного Наблюдения (ADS-B). Система ADS-B позволяет в автоматическом режиме передавать информацию об идентификации, местоположении, скорости, времени синхронизации и параметров транспортного средства, без участия сотрудников на транспортном средстве, используя формат сообщений VDL Mode 4. Кроме того система ADS-B позволяет организовать системы наблюдения со связями транспорт – оператор и транспорт – транспорт.

Связь транспорт – транспорт является адресной связью и используется для реализации обмена информации между двумя транспортными средствами, на которых установлено оборудование, поддерживающее VDL Mode 4. Такой тип связи позволяет предотвращать конфликтные ситуации, так как водители смогут видеть друга друга в пределах заданного радиуса радиовещания. Кроме того, этот тип связи применяется для синхронизации между оборудованьями на транспортном средстве путём использования сообщений общего запроса резервирования автонастройки. Когда транспортное средство

находит в сети резервирование автонастройки, оно прекращает автономную рассылку общего запроса и начинает передавать информацию следуя полученным инструкциям из сообщения общего запроса. Инструкции определяются полем адресуемого смещения и содержат:

1) Инструкция на автономную широкополосную передачу. В этом случае оборудование принимает решение относительно своих собственных свободных или зарезервированных слотов.

2) Инструкция на передачу с учетом ранее установленных для этого оборудования слотов, которые выдаются с операторской станции при включении оборудования на транспорте.

Связь транспорт – оператор является спутниковой связью. Такой тип связи необходим для реализации обмена информации между транспортным средством и операторской станцией. Этот тип связи применяется для наблюдения за транспортными средствами в сети оперативного мониторинга транспортных средств, а также для осуществления контроля и обратной связи со стороны оператора. Так же такой тип связи используется для синхронизации транспортного средства с операторской станцией, когда в оборудовании на транспорте включается питание. В этом случае система применяет процедуру первичного входа в сеть при которой происходит синхронизация времени по UTC, а также назначение текущих и будущих временных слотов для передачи данных, для того чтобы избежать интерференции данных с другими, уже работающими транспортными средствами.

Разработка функциональной схемы приемной части системы оперативного мониторинга транспортных средств

Функциональная схема – это документ, представляющий из себя разъясняющий материал. Предназначение функциональной схемы заключается в визуальном представлении элементов, из которого состоит оборудование, а также в пояснении принципа работы всего оборудования, а также его частей. В связи с этим, разработка функциональной схемы является обязательным этапом при проектировании оборудования любого типа. На рисунке 7 представлена функциональная схема приемной части разрабатываемого оборудования системы оперативного мониторинга транспортных средств.

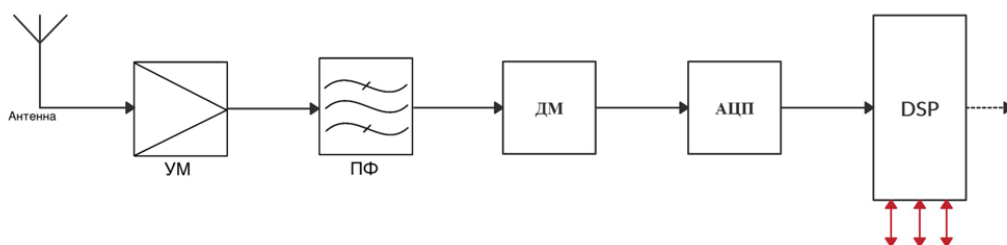


Рисунок 7. Функциональная схема приемной части оборудования

Приведённая выше функциональная схема состоит из следующих элементов:

- 1) Антенна;
- 2) УМ – усилитель мощности
- 3) ПФ – полосовой фильтр
- 4) ДМ – демодулятор
- 5) АЦП – аналого-цифровой преобразователь
- 6) DSP – сигнальный процессор ADSP-2181

Данная схема позволяет понять принцип работы приемной части оборудования.

Прежде всего, оборудование принимает передаваемый в канале сигнал с помощью антенны – устройства, осуществляющего излучение или приём радиоволн. Сигнал, приходящий на антенну, является искаженным, так как вне оборудования на сигнал накладываются атмосферные, а также промышленные помехи.

После приёма сигнал подаётся на усилитель мощности – элемент, который за счёт приходящей энергии от источника питания усиливает параметры сигнала. В данном случае вместе с полезной информацией будут так же усилены помехи, наложенные на сигнал. Усилитель мощности в оборудовании необходим для корректной работы следующего элемента.

Сигнал от усилителя мощности подаётся на полосовой фильтр. Полосовой фильтр – один из разновидностей фильтров, основной особенностью которого является возможность выбора нижней и верхней частоты фильтра и определения полосы пропускания. Для реализации фильтрации был выбран КИХ фильтр (фильтр с конечной импульсной характеристикой). Этот фильтр является линейным цифровым фильтром с ограниченной по времени импульсной характеристикой. Основным достоинством КИХ фильтров является их устойчивость в любых условиях, а также постоянная и ограниченная длительность переходных процессов фильтра. Стоит отметить, что для корректного процесса фильтрации на приемной части, фильтра приемника должен обладать такими же характеристиками, что и фильтр на передатчике. При соблюдении данного параметра, сигнал на выходе фильтра будет соответствовать передаваемому сигналу. Уровень помех будет снижен, при этом сигнал будет незначительно искажён и сдвинут по времени, но это не будет влиять на переходные процессы. Функциональная схема КИХ фильтра представлена на рисунке 9 и содержит блоки задержки сигнала на 1 период дискретизации (K), умножитель на константу (G) и сумматор (+).

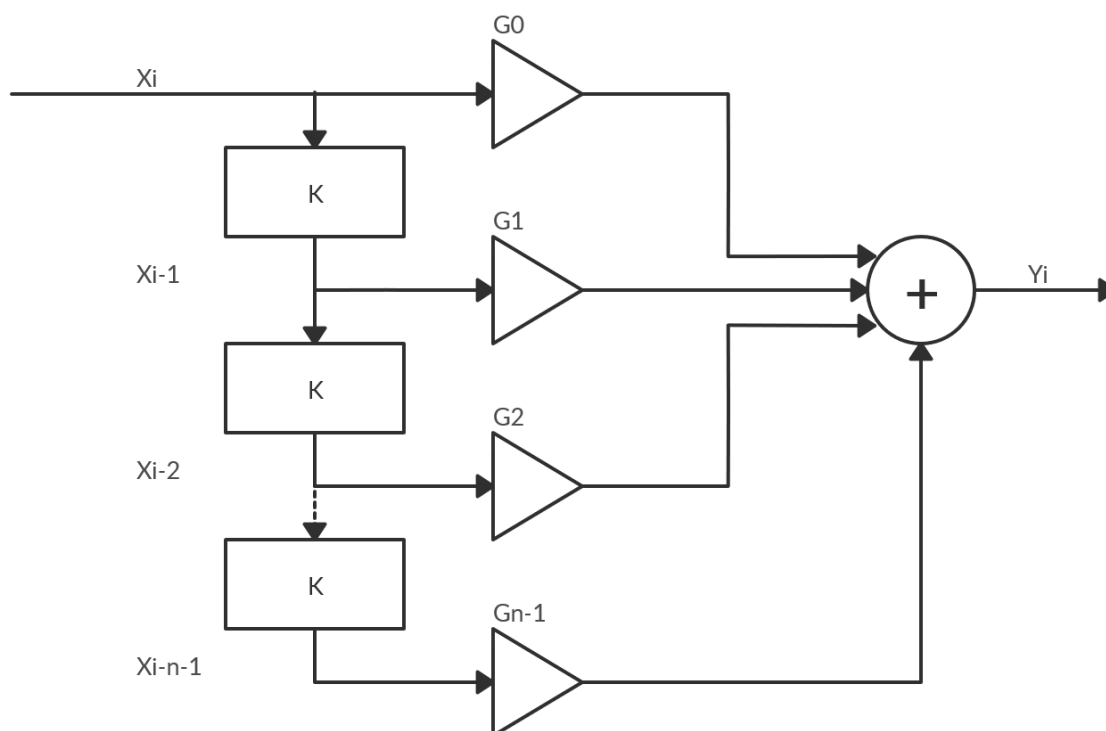


Рисунок 9. Функциональная схема КИХ фильтра

Далее сигнал поступает на демодулятор, основной задачей которого является восстановление изначальной информации, которая была преобразована модулятором на

передающей части оборудования. Модуляция применяется в системах радиопередачи для возможности правильного функционирования приемопередающих устройств. Для оборудования было решено использовать фазовую модуляцию, по которой работает обработка сигнала в протоколе VDL Mode 4, а именно двоичная фазовая модуляция BPSK, применяемая для обработки униполярных и биполярных цифровых сигналов. В данной системе используется один канал для обработки данных, поэтому каждый бит информации обрабатывается одним символом. Демодуляция наглядно показана на рисунке 10, здесь каждый бит сигнала перемножается с символом синусоидального сигнала на перемножителе. На выходе получаем демодулированный сигнал.

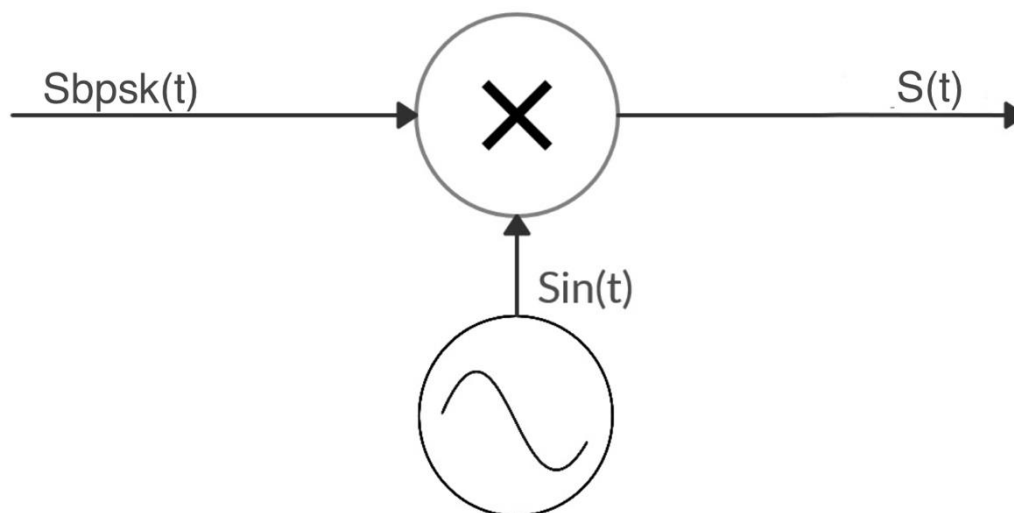


Рисунок 10. Функциональная схема демодулятора BPSK

Демодулированный аналоговый сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь. Аналогово-цифровой преобразователь – это устройство, представляющее из себя электрическую плату, которое работает, основываясь на теореме Котельникова и выполняет преобразование поступившего на вход платы аналогового сигнала в цифровой, представляющий собой последовательность битов из нулей и единиц. На выходе АЦП получаем цифровой сигнал, который представляет из себя информацию по протоколу VDL Mode 4, содержащий данные о номере машины, местоположении, скорости и другой информации, представленной в виде двоичной последовательности.

Последний элемент приемной части системы оперативного мониторинга – это сам процессор, выполняющий обработку полученной информации. На вход процессора поступает двоичная последовательность, которая является пакетом данных, передаваемым по каналу связи. Роль процессора на приеме заключается в распознавании информации из полученного пакета, распределения ее по необходимым массивам, а также преобразования информации для вывода на подключенное оборудование.

Функциональная схема оборудования системы оперативного мониторинга транспортных средств.

Для полного понимания принципа работы оборудования для системы оперативного мониторинга транспортных средств необходимо рассмотреть функциональную схему всего оборудования в целом, содержащую, как разрабатываемую в данной работе приемную часть, так и передающую часть.

На рисунке 11 изображена функциональная схема оборудования системы мониторинга. Передающая часть очень похожа на приемную часть, в этой части

оборудования происходят такие процессы как: преобразование цифровой последовательности в аналоговый сигнал в ЦАП, модулирование сигнала перемножением на косинус, фильтрование сигнала КИХ фильтром, усиление сигнала на усилителе мощности для возможности его успешной передачи и передача сигнала с помощью антенны.

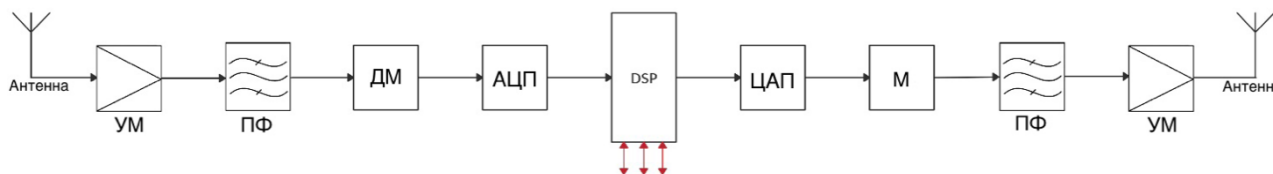


Рисунок 11. Функциональная схема оборудования системы мониторинга

Разработка электрической схемы оборудования системы оперативного мониторинга транспортных средств

Электрическая схема – это документ, дающий наглядное представление об элементах оборудования и принципах их взаимодействия. В отличие от функциональной схемы, электрическая схема предоставляет для обзора полный и подробный состав элементов, действующих при помощи электрических связей между ними, учитывает все взаимосвязи элементов схемы, кроме того предоставляются характеристики каждого элемента. Необходимость разработки электрических схем связана с ее дальнейшим применением при практической разработке устройства, так как она содержит понятия о том, какие элементы понадобятся и с какими параметрами, а также как правильно подключать элементы друг к другу. В данном разделе на рисунке 12 приведена полная электрическая схема для всего оборудования. Это связано с тем, что в электрической схеме нет деления на приемную и передающую часть. Кроме того, представлено подробное описание основных элементов в электрической схеме.

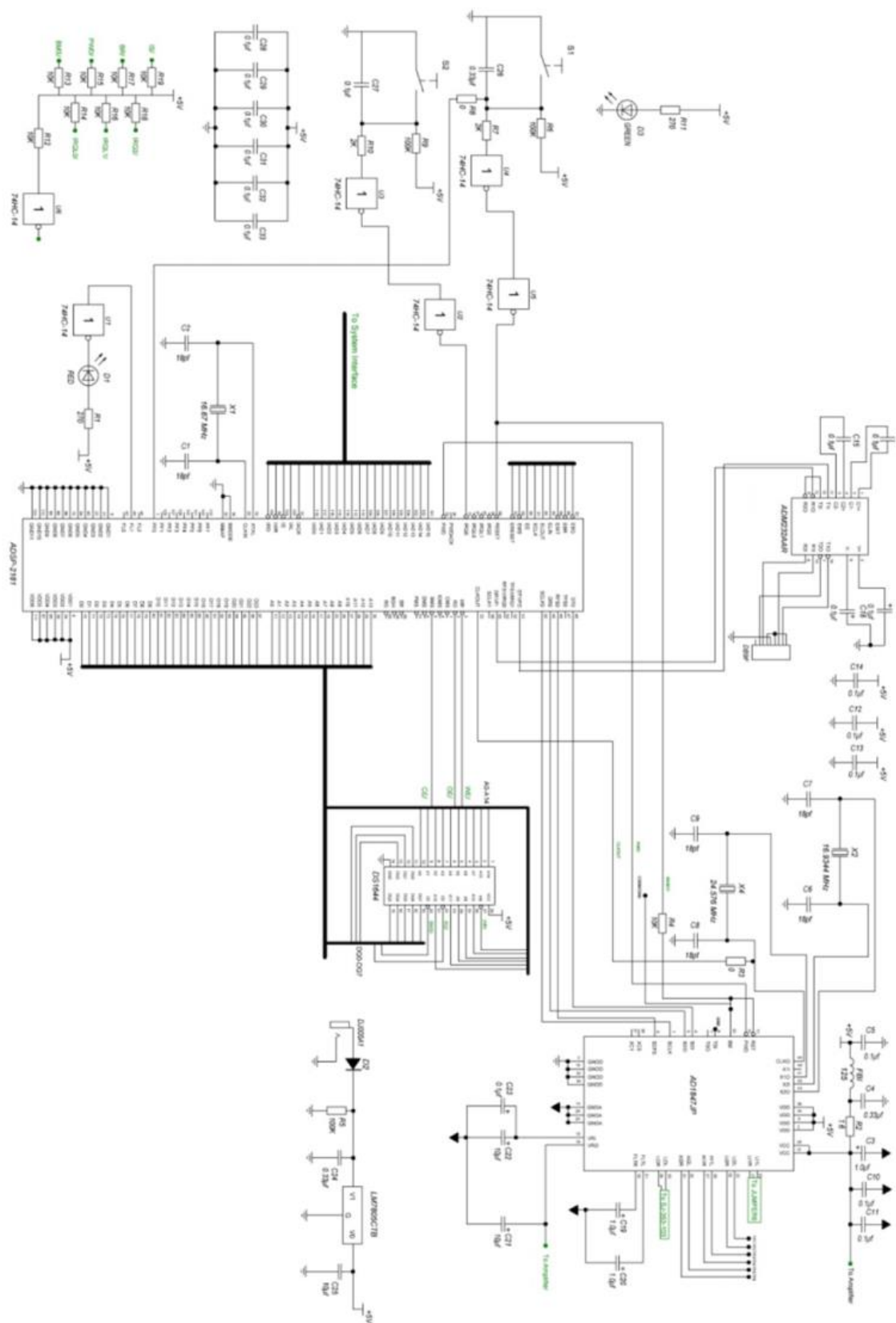


Рисунок 12. Электрическая схема оборудования для системы оперативного мониторинга транспортных средств

Список элементов, входящих в электрическую схему, а также их параметры и количество представлены в таблице 1.

Таблица 1. Список используемых элементов в электрической схеме

Элемент	Номинальный параметр	Количество
ADSP-2181	-	1
AD1847JP	-	1
DS1644	-	1
ADM232A	-	1
LM78M05CT	-	1
EVQPAC04M	-	2
DJ005A	-	1
Диод	-	1
LN21RPHL	-	1
LN31GPHL	-	1
74HC14D	-	6
Конденсаторы	0,1 мкФ	18
	0,33 мкФ	3
	18 пФ	6
Конденсаторы электролитические	1 мкФ	3
	10 мкФ	3
Резисторы	0 Ом	2
	1,6 Ом	1
	270 Ом	2
	2 кОм	2
	10 кОм	9
	100 кОм	3
Резонаторы	16,67 МГц	1
	16,9344 МГц	1
	24,576 МГц	1

Более подробно разберём основные элементы приведённой выше электрической схемы. Первый и самый основной элемент – ADSP-2181. ADSP-2181 – это сигнальный процессор семейства ADSP-21XX производства Analog Devices. Графическое представление этого процессора представлено на рисунке 13. Именно для этого процессора было разработано программное обеспечение для устройства системы оперативного мониторинга. Основными особенностями данного процессора является:

1) Наличие последовательных портов SPORT0 и SPORT1 для приёма и передачи информации от 3 до 16 бит за одно слово с возможностью по каналного разделения и распределения в кольцевые буферы.

2) Наличие аппаратных средств, таких как АЛУ (арифметико-логическое устройство) для выполнения арифметических и логических операций с функцией деления, умножитель выполняющий умножение 16-ти разрядных операндов как с учетом знака операнда, так и без учета, а также сдвигатель для перемещения битов, поступающих 16-ти разрядных операндов по выделенному для сдвигателя 32-ух разрядному полю с различными функциями.

3) Возможность выполнения за один машинный цикл, равный 25 нс, до трёх команд.

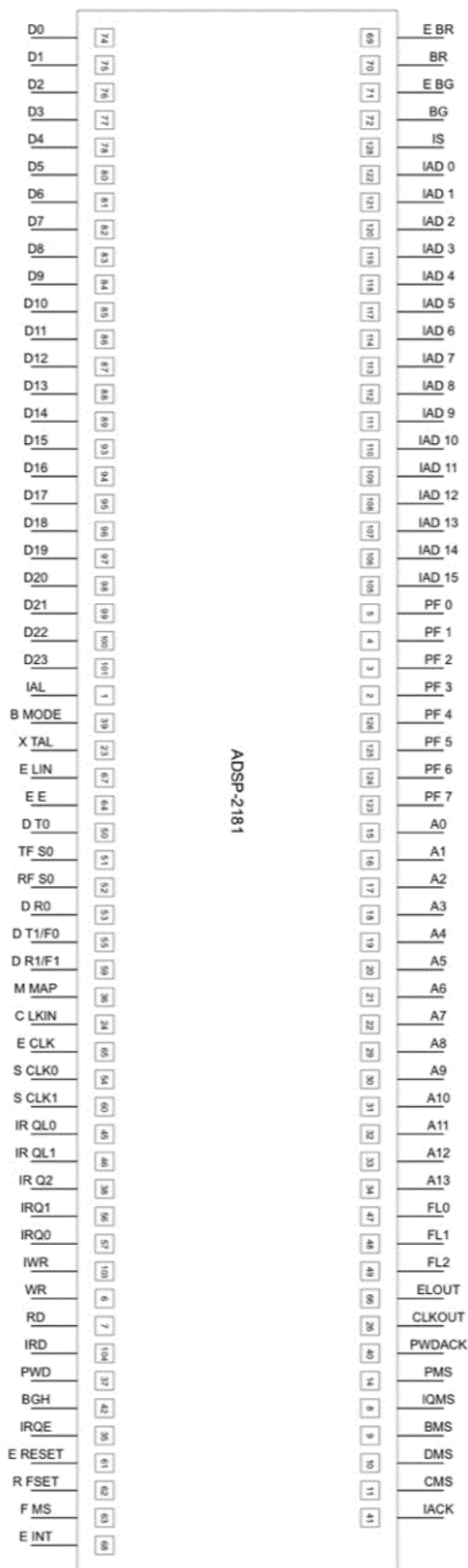


Рисунок 13. Графическое изображение процессора ADSP-2181

Следующим элементом таблицы является цифровой стерео кодек AD1847JP. Это устройство предназначено для преобразования аудио информации, его основной особенностью является наличие пары 16-ти битных стерео входов для ЦАП и пары 16-ти битных входов для АЦП. Преимуществом этого кодека является то, что он не требует высокого качества фильтрации сигнала для выполнения операции аналогово-цифрового преобразования, так как на аналоговом входе выполняется пред дискретизация, кроме того на входе дополнительно установлены НЧ фильтры. При выполнении операции цифро-аналогового преобразования так же установлены дополнительные цифровые фильтры для снижения шумов и среза паразитных составляющих полученного аналогового сигнала на высоких частотах. Данное устройство не требует никаких дополнительных элементов для выполнения преобразования ЦАП и АЦП и отличается своей невысокой стоимостью. Графическое представление кодека AD1847JP представлено на рисунке 14.



Рисунок 14. Графическое изображение кодека AD1847JP

Следующее устройство DS1644 представляет из себя энергонезависимое ОЗУ обладающее емкостью для накопления информации в 32 кБайт или 262144 бит. Этой емкости достаточно для разрабатываемого оборудования и используется в нем для хранения массивов данных, содержащих информацию о идентификаторах всех устройств в сети, а также ключей для реализации функции шифрования канала передачи. Так же неиспользуемые ячейки будут применяться для хранения параметров некоторых устройств в оборудовании, например, значений импульсных характеристик для применяемого фильтра. Кроме того, данное устройство включает в себя часы реального времени с функцией автоматической корректировки, что может использоваться в протоколе VDL Mode 4 в случае нарушения синхронизации времени по UTC. Особенностью используемой независимой памяти является наличие собственной электрической цепи, которая выполняет функцию защиты от сбоев питания, что позволит предотвратить потерю данных в случае непредвиденного отключения или скачков напряжения в оборудовании. Графическое представление энергонезависимого ОЗУ DS1644 представлено на рисунке 15.

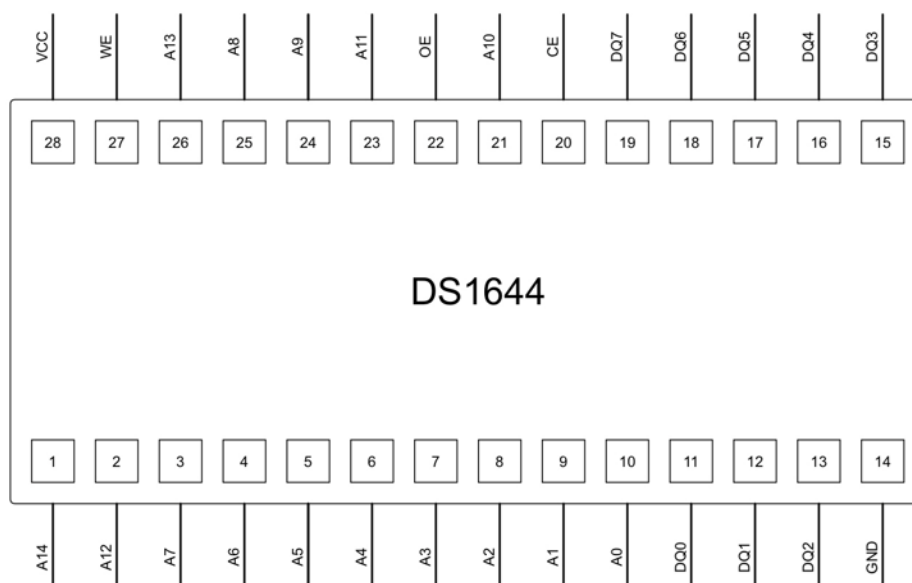


Рисунок 15. Графическое изображение энергонезависимого ОЗУ DS1644

Ещё одно не менее важное устройство в электрической схеме – трансивер ADM222A являющийся улучшенной модификацией устройств семейства AD230-AD241, который выполняет функцию приёма и передачи информации по стандарту RS-232. Данный стандарт предполагает, что передача информации происходит при напряжении от 5 В, но при это приём осуществляется на напряжении до 3 В. На данном устройстве эта возможность реализуется через встроенные в чип усилители мощности, а также устройства сдвига уровня сигнала, что позволяет достигнуть минимального рассеяния мощности. Таким образом, достигается передача сигнала с напряжением 9 В. Приемная часть устройства позволяет инвертировать приходящий сигнал с уровнем напряжения от 3 В до 15 В в сигнал с уровнем 0,8 В – 2,4 В с использованием резисторов номиналом в 5 кОм. Графическое представление трансивера ADM222A представлено на рисунке 16

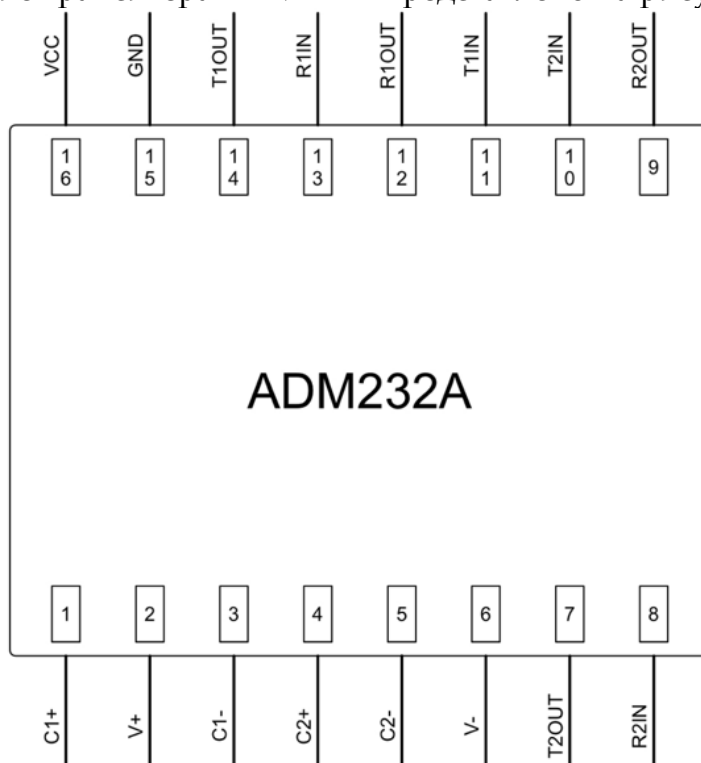


Рисунок 16. Графическое изображение трансивера ADM222A

Так же в электрической схеме применяется линейный стабилизатор напряжения с положительной полярностью LM78M05CT имеющий выход с напряжением 5 В и выходным током 500 мА. Так же стабилизатор обладает автоматическим термальным выключателем. Задачей данного устройства является поддержание постоянного напряжения 5 В в электрической схеме при нестабильном входном напряжении. Стабилизатор необходим, так как все рассмотренные ранее устройства функционируют именно при напряжении 5 В.

Для включения и выключения оборудования системы оперативного мониторинга транспортных средств в схеме используется выключатель EVQPAC04M.

Для подключения внешнего питания к оборудованию в схеме применяется трех контактный цилиндрический разъем питания типа «Jack» с маркировкой DJ005A.

Для отслеживания состояния оборудования в схеме подключено два светодиода, один светодиод LN21RPHL красного цвета, и один светодиод LN31GPHL красного цвета.

Для выполнения функции инвертирования поступающей последовательности для корректной работы схемы применяется логические элементы 74НС14D в количестве 6 штук. Данное устройство выполняет логическую команду «НЕ».

Разработка прикладного алгоритмического и программного обеспечения приемной части системы оперативного мониторинга транспортных средств

В данном разделе представлен разработанный проект в среде VisualDSP, которая имеет возможность написания кода для сигнальных процессоров семейства ADSP-21XX, в частности для процессора ADSP-2181, используемого в оборудовании для системы оперативного мониторинга транспортных средств. Среда разработки и применяемые в проекте коды указаны на рисунке 17. Разработанный проект выполняет приём полученного аналогового сообщения, его дальнейшую обработку, формирование цифрового сигнала и его дальнейшее сохранение в памяти оборудования.

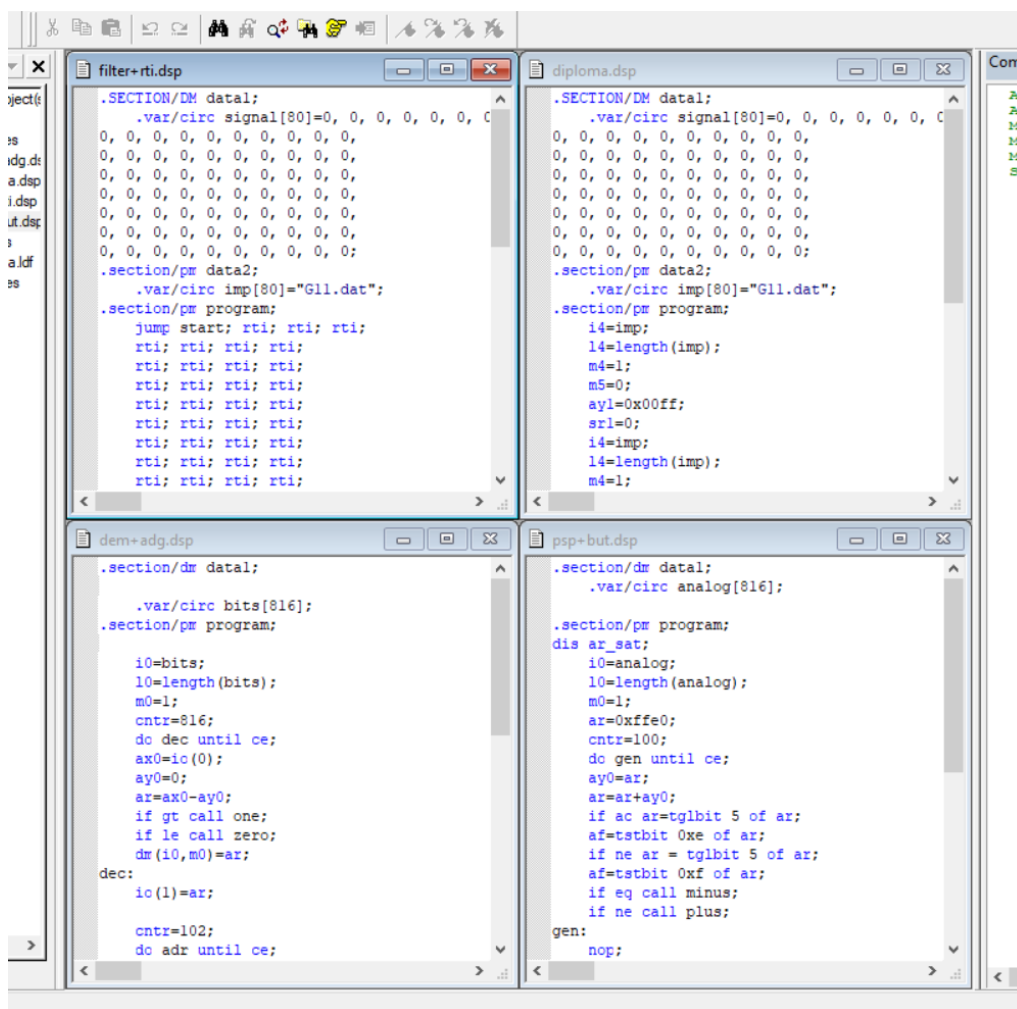


Рисунок 17. Среда разработки VisualDSP

Проект состоит из нескольких программ выполняющие определенные функции:

- 1) Программа генерации аналогового сигнала;
- 2) Программа реализации КИХ фильтра;
- 3) Программа демодуляции и аналогово-цифрового преобразования;

В итоге был разработан проект, выполняющий работу приемной части системы оперативного мониторинга транспортных средств.

Заключение

В данной работе была успешно разработана приемная часть оборудования системы оперативного мониторинга транспортных средств на базе сигнального процессора ADSP-2181. Такая система может быть использована для различных автотранспортных предприятий и позволит добиться полного контроля над действиями сотрудников.

В процессе разработки было решено множество вопросов связанных с организацией создаваемой системы. Была произведена модификация протокола VDL Mode 4 для его применения в наземных транспортных средствах, ввиду его возможностей по созданию самоорганизующейся сети и функции передачи информации по типу транспорт-транспорт и транспорт-оператор. Была разработана функциональная схема, описывающая принцип работы оборудования, а так же его электрическая схема, включающая в себя все используемые элементы для функционирования оборудования. Основным этапом проделанной работы являлась разработка программного обеспечения в среде VisualDSP на

языке сигнального процессора ADSP-2181, для реализации приёма аналоговых сигналов и преобразования их в цифровые для последующего чтения и передачи.

Стоит отметить, что данную систему можно развивать и улучшать, увеличивая количество оборудований в сети или добавляя оборудованию функционал, что говорит о гибкости разработанной системы и ее потенциалу к расширению.

В итоге, цель проделанной работы была достигнута. Получилось успешно реализовать приём и обработку сообщения, а полученный цифровой сигнал соответствует изначально сгенерированному, из чего следует, что процессор принимает правильную информацию.

Список литературы

1. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) Руководство по цифровой линии передачи данных (ЛПД) частотного диапазона (VHF). Часть 1, 2004. – 245с.
2. Шаврин С. С., Климов Д. А. Реализация базовых операций защиты информации на сигнальных процессорах. Часть 1: Учебное пособие / МТУСИ. – М., 2012. – 68с.
3. Шаврин С. С. Реализация базовых операций защиты информации на сигнальных процессорах. Часть 2: Учебное пособие / МТУСИ. – М., 2016. – 42с.
4. Шаврин С. С., Зуйкова Т. Н., Мусатова О. Ю. Реализация базовых операций защиты информации на сигнальных процессорах. Часть 2: Учебное пособие / МТУСИ. – М., 2018. – 36с.
5. Мельник С. В., Зуйкова Т. Н., Мусатова О. Ю., Шаврин С. С. Исследование эффектов ограничения разрядной сетки при цифровой обработке сигналов. Практикум/ МТУСИ. – М., 2017. – 24с.
6. Р. Лайонс Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 656с.
7. Д. Прокис Цифровая связь. Пер. с англ./ Под ред. Д. Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800с.
8. К. Феер Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. Пер. с англ./ Под ред. В. И. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000. – 520с.
9. Руководство пользователя по сигнальным микропроцессорам семейства ADSP-2100. Пер. с англ./ Под ред. А. Д. Викторова. – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет. – Санкт-Петербург, 1997. – 520с.
10. Концепция использования ADS-B (AN-Conf/11-WP/6), 2003. -55p.

References

1. International Civil Aviation Organization (ICAO) Manual for Digital Data Link (VHF) Frequency Band (VHF). Part 1, 2004. - 245s.
2. Shavrin S. S., Klimov D. A. Implementation of basic information protection operations on signal processors. Part 1: Textbook / MTUCI. - M., 2012. - 68s.
3. Shavrin S. S. Implementation of basic operations of information protection on signal processors. Part 2: Textbook / MTUCI - - M., 2016. - 42s.
4. Shavrin S. S., Zuikova T. N., Musatova O. Yu. Implementation of basic information protection operations on signal processors. Part 2: Textbook / MTUCI - - M., 2018. - 36s.
5. Melnik S. V., Zuikova T. N., Musatova O. Yu., Shavrin S. S. Investigation of the effects of limiting the bit grid in digital signal processing. Practicum / MTUCI - - M., 2017. - 24s.

6. R. Lyons Digital signal processing: Second edition. Per. s engl. - M.: ООО "Binom-Press", 2006. - 656s.
7. D. Prokis Digital communication. Per. s engl./ Ed. D. D. Klovsy. - M.: Radio and Communication, 2000 - - 800s.
8. K. Feer Wireless digital communication. Methods of modulation and spectrum expansion. Per. s eng. / Ed. V. I. Zhuravlev. - M.: Radio and communication, 2000 - - 520s.
9. User's guide to signal microprocessors of the ADSP-2100 family. Per. s eng./ Ed. A.D. Viktorov. - St. Petersburg State Electrotechnical University. - Saint Petersburg, 1997. - 520с.
10. The concept of using ADS-B (AN-Conf/11-WP/6), 2003. - 55p.

Приложение А

Разработка программы генерации аналогового сигнала

Данная программа является вспомогательной и была разработана для имитации случайного аналогового сигнала. Программа «PSP+BUF» сначала генерирует псевдослучайную последовательность нулей и единиц при помощи генератора самосинхронизирующейся последовательности, после чего простейшим модулированием и разработанным методом ЦАП на языке ADSP-2181 преобразует аналоговый сигнал в цифровой.

Далее представлен листинг программы генерации аналогового сигнала:

Page 1 .\psp+but.dsp

ADI EASM218x (Version 2.10.4.5) 19 May 2020 17:34:45

```

offset  opcode line
=====  ===== =====
0          1 .section/dm data1;
0          2  .var/circ analog[816];
          3
0          4 .section/pm program;
0 0c0800   5 dis ar_sat;
1 340000   6  i0=analog;
2 340008   7  l0=length(analog);
3 340014   8  m0=1;
4 4ffe0a   9  ar=0xffe0;
5 3c0645  10  cntr=100;
6 14000e  11  do gen until ce;
7 0d004a  12  ay0=ar;
8 22620f  13  ar=ar+ay0;
9 23ca58  14  if ac ar=tglbit 5 of ar;
a 279a9f  15  af=tstbit 0xe of ar;
b 23ca51  16  if ne ar = tglbit 5 of ar;
c 279adf  17  af=tstbit 0xf of ar;
d 1c0000  18  if eq call minus;
e 1c0001  19  if ne call plus;
f          20 gen:
f 000000  21  nop;
          22
10          23 plus:
10 47d000  24  ax0=32000;
11 3c0085  25  cntr=8;
12 14000e  26  do metka_p until ce;
13          27 metka_p:
13 680000  28  dm(i0,m0)=ax0;
14 018000  29  io(0)=ax0;
15 0a000f  30  rts;
          31
16          32 minus:
16 483000  33  ax0=-32000;
17 3c0085  34  cntr=8;

```



```
18 14000e 35 do metka_m until ce;  
19      36 metka_m:  
19 680000 37 dm(i0,m0)=ax0;  
1a 018000 38 io(0)=ax0;  
1b 0a000f 39 rts;
```

Как результат выполнения программы, будет получен файл в формате «.txt», содержащий отсчеты сгенерированного аналогового сигнала.

Приложение Б

Разработка программы реализации КИХ фильтра

Разработанная программа «FILTER» реализует фильтрацию входящего аналогового сигнала. Применяется для исключения паразитирующих шумов на сигнале, передающемся в канале передачи. Так как фильтру нужно время на заполнение отсчетов и перемножение каждого из них со всеми значениями импульсной характеристики, то сигнал на выходе идёт с задержкой в начале передачи, но это не влияет на конечную информацию. Для работы программы сначала заполняется буфер на 80 значений, состоящий из значений импульсной характеристик фильтра, которая была получена в отдельной программе и передана файлом «G11.dat». Данная импульсная характеристика одинакова для всех фильтров на приёме и передаче оборудования в системе. На вход фильтра через параллельный порт входа/выхода IO(0) процессора подаётся полученный в прошлой программе «PSP+BUF» аналоговый сигнал.

Далее представлен листинг под программы реализующий фильтрацию входящего аналогового сигнала:

Page 1 .\filter.dsp

ADI EASM218x (Version 2.10.4.5) 19 May 2020 12:13:05

```

offset  opcode line
=====  =====  =====
0          1 .SECTION/DM data1;
0          2  .var/circ signal[80]=0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
          3 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
          4 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
          5 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
          6 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
          7 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
          8 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
          9 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0;
0          10 .section/pm data2;
0          11  .var/circ imp[80]="G11.dat";
          11
0          12 .section/pm program;
0 380000 13  i4=imp;
1 380008 14  l4=length(imp);
2 380014 15  m4=1;
3 380005 16  m5=0;
4 400ff5 17  ay1=0x00ff;
5 40000f 18  sr1=0;
6 380000 19  i4=imp;
7 380008 20  l4=length(imp);
8 380014 21  m4=1;
9 340000 22  i0=signal;
a 340008 23  l0=length(signal);
b 340004 24  m0=0;
c 340015 25  m1=1;
d 500060 26  my0=pm(i4,m4);
e 3c3305 27  cntr=816;

```

```

f 14000e 28 do output until ce;
10 010002 29 mx0=io(0);
11 689821 30 dm(i0,m1)=mx0, mr=0;
12 3c04e5 31 cntr=78;
13 14000e 32 do filtr until ce;
14      33 filtr: mr=mr+mx0*my0 (ss), mx0=dm(i0,m1), my0=pm(i4,m4);
14 e90001 33
15 e90000 34 mr=mr+mx0*my0 (ss), mx0=dm(i0,m0), my0=pm(i4,m4);
16 510060 35 mr=mr+mx0*my0 (ss), my0=pm(i4,m4);
17 20580f 36 mr=mr(rnd);
18 050000 37 if mv sat mr;
19      38 output: io(1)=mr1;
19 01801c 38
      39

```

В результате выполнения данной программы на параллельном порте входа/выхода Ю(1) получаем отфильтрованный входящий аналоговый сигнал, который сохраняется в памяти устройства в формате «.txt».

Для применения данной программы в реальном времени необходимо настроить ее на работу с непрерывным сигналом с обработкой в реальном времени. Для этого необходимо изменить код, добавив в него систему прерываний по таймеру и настроить таймер основываясь на частоту дискретизации.

Ниже представлен листинг программы реализующей фильтрацию сигнала в реальном времени:

Page 1 .\filter+rti.dsp

ADI EASM218x (Version 2.10.4.5) 19 May 2020 14:17:19

```

offset  opcode line
=====  =====  =====
0          1 .SECTION/DM data1;
0          2  .var/circ signal[80]=0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
3 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
4 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
5 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
6 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
7 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
8 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
9 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0;
0          10 .section/pm data2;
0          11  .var/circ imp[80]="G11.dat";
11
0          12 .section/pm program;
0 18000f 13  jump start; rti; rti; rti;
1 0a001f 13
2 0a001f 13
3 0a001f 13
4 0a001f 14  rti; rti; rti; rti;
5 0a001f 14
6 0a001f 14

```

7	0a001f	14	
8	0a001f	15	rti; rti; rti; rti;
9	0a001f	15	
a	0a001f	15	
b	0a001f	15	
c	0a001f	16	rti; rti; rti; rti;
d	0a001f	16	
e	0a001f	16	
f	0a001f	16	
10	0a001f	17	rti; rti; rti; rti;
11	0a001f	17	
12	0a001f	17	
13	0a001f	17	
14	0a001f	18	rti; rti; rti; rti;
15	0a001f	18	
16	0a001f	18	
17	0a001f	18	
18	0a001f	19	rti; rti; rti; rti;
19	0a001f	19	
1a	0a001f	19	
1b	0a001f	19	
1c	0a001f	20	rti; rti; rti; rti;
1d	0a001f	20	
1e	0a001f	20	
1f	0a001f	20	
20	0a001f	21	rti; rti; rti; rti;
21	0a001f	21	
22	0a001f	21	
23	0a001f	21	
24	0a001f	22	rti; rti; rti; rti;
25	0a001f	22	
26	0a001f	22	
27	0a001f	22	
28	18000f	23	jump filter; rti; rti; rti;
29	0a001f	23	
2a	0a001f	23	
2b	0a001f	23	
2c	0a001f	24	rti; rti; rti; rti;
2d	0a001f	24	
2e	0a001f	24	
2f	0a001f	24	
30	25	start: i4=impr;	
30	380000	25	
31	380008	26	l4=length(impr);
32	380014	27	m4=1;
33	380005	28	m5=0;
34	400ff5	29	ay1=0x00ff;
35	40000f	30	sr1=0;

```
36 380000 31 i4=impr; l4=length(impr); m4=1;
37 380008 31
38 380014 31
39 340000 32 i0=signal; l0=length(signal); m0=0; m1=1;
3a 340008 32
3b 340004 32
3c 340015 32
3d 500060 33 my0=pm(i4,m4);
3e 40004a 34 ar=4;
3f 93ffba 35 dm(0x3ffb)=ar;
40 403e7a 36 ar=999;
41 93ffca 37 dm(0x3ffc)=ar;
42 93ffda 38 dm(0x3ffd)=ar;
43 3c0ffc 39 ifc=0x00ff;
44 000000 40 nop;
45 3c0013 41 imask=b#0000000000000001;
46 000000 42 nop;
47 0cc000 43 ena timer;
48 44 zacycl: jump zacycl;
48 18000f 44
49 45 filter: mx0=io(0);
49 010002 45
4a 689821 46 dm(i0,m1)=mx0, mr=0;
4b 3c04e5 47 cntr=78;
4c 14000e 48 do filt until ce;
4d 49 filt: mr=mr+mx0*my0(ss), mx0=dm(i0,m1), my0=pm(i4,m4);
4d e90001 49
4e e90000 50 mr=mr+mx0*my0(ss), mx0=dm(i0,m0), my0=pm(i4,m4);
4f 510060 51 mr=mr+mx0*my0(ss), my0=pm(i4,m4);
50 20580f 52 mr=mr(rnd);
51 050000 53 if mv sat mr;
52 01801c 54 io(1)=mr1;
53 0a001f 55 rti;
```

Приложение В

Разработка программы демодуляции и аналогов-цифрового преобразования

Данная программа «DEM+ADG» реализует параллельную демодуляцию и аналогово-цифровое преобразование полученного отфильтрованного сигнала. На вход процессора через параллельный последовательный порт IO(0) последовательно подаются отсчеты отфильтрованного аналогового сигнала.

Листинг программы реализующей преобразование в цифровой сигнал:

Page 1 .\dem+adg.dsp

ADI EASM218x (Version 2.10.4.5) 19 May 2020 17:20:27

```

offset  opcode line
=====  =====  =====
0          1 .section/dm data1;
          2
0          3  .var/circ bits[816];
0          4 .section/pm program;
          5
0 340000  6  i0=bits;
1 340008  7  l0=length(bits);
2 340014  8  m0=1;
3 3c3305  9  cntr=816;
4 14000e 10  do dec until ce;
5 010000 11  ax0=io(0);
6 400004 12  ay0=0;
7 22e00f 13  ar=ax0-ay0;
8 1c0002 14  if gt call one;
9 1c0003 15  if le call zero;
a 6800a0 16  dm(i0,m0)=ar;
b          17 dec:
b 01801a 18  io(1)=ar;
          19
c 3c0665 20  cntr=102;
d 14000e 21  do adr until ce;
e 40000a 22  ar=0;
f 3c0085 23  cntr=8;
10 14000e 24  do sred_bit until ce;
11 600040 25  ay0=dm(i0,m0);
12 22620f 26  ar=ar+ay0;
13          27 sred_bit:
13 000000 28  nop;
          29
14 400044 30  ay0=4;
15 0d000a 31  ax0=ar;
16 22e00f 32  ar=ax0-ay0;
17 1c0002 33  if gt call one;
18 1c0003 34  if le call zero;
19          35 adr:
19 01802a 36  io(2)=ar;

```

```
37
1a      38 one:
1a  400010 39  ax0=1;
1b  0d00a0 40  ar=ax0;
1c  0a001f 41  rti;
42
1d      43 zero:
1d  400000 44  ax0=0;
1e  0d00a0 45  ar=ax0;
1f  0a001f 46  rti;
47
48
```

В итоге будет сформирован файл в формате «.txt» содержащий последовательность нулей и единиц, которая совпадает со сгенерированной в первой программе последовательности, но со сдвигом, о котором было описано ранее.