

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДЕМА ДЛЯ АППАРАТУРЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Григоренко Д.В.

Важной составной частью аппаратуры передачи данных (АПД) [1-3] является модем, обеспечивающий работу на различных скоростях передачи и приема информации. При проектировании АПД требуется реализовать совместимость с наибольшим количеством существующих модемов, используемых в сетях с различными протоколами передачи данных.

Наибольшие трудности при проектировании модема связаны с разработкой программного обеспечения (ПО), реализующего цифровую обработку сигналов.

Реализация архитектуры специализированного вычислительного устройства модема не представляет серьезных трудностей, хотя и является не простой задачей. В настоящее время практически для всех новых микропроцессорных изделий, появляющихся на рынке, прилагается подробная документация по их применению, типовые схемы включения, отладочные комплекты [4].

В данной работе, на основании опыта проектирования модема на базе отладочного комплекта для сигнального микропроцессора семейства Blackfin [4], кратко изложена методика реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов, а также другого сопутствующего ПО модема. Также описано ПО разработанного модема на базе процессора BF533 [4]. Методика состоит из трех этапов, которые далее будут рассмотрены.

При реализации АПД требуется обеспечить совместимость с различными устройствами передачи данных. При разработке протоколов передачи данных нижних уровней, таких как V.21, V.22, V.32 следует учитывать, что они создавались в то время, когда элементная база была еще не достаточно развита. Поэтому чисто механическое их включение в систему представляется нецелесообразным. С целью повышения эффективности и помехоустойчивости реализация протоколов нижних уровней должна осуществляться с учетом возможностей современной элементной базы и включения новых решений по математической, цифровой обработке сигналов. В качестве примера можно привести использование алгоритма «с обратной связью по решению» [5] при реализации протокола V.32.

Как показал опыт моделирования, большую трудность представляет реализация устойчивой работы всей системы в целом. Несмотря на то, что отдельные блоки, например, такие как адаптивный эквалайзер, ротатор (осуществляет поворот фазы принимаемого сигнала), автоматическая регулировка усиления, и др., по отдельности работают правильно и устойчиво, при объединении могут нарушать работоспособность друг друга.

В разработанном пакете использованы новые технические решения, которые отсутствуют в известных модемах. Реализован корректор с обратной связью по решению для всех скоростей передачи данных. Коррекция и декодирование Витерби [7] осуществляется совместно, что допол-

нительно повышает помехоустойчивость при сильных амплитудно-частотных искажениях.

На первом этапе проектируются отдельные блоки с применением имитационного моделирования в среде MATLAB и с использованием пакета Simulink [6].

Программное обеспечение модема включает в себя следующие процедуры:

- 1) модуляции и демодуляции сигналов с квадратурной амплитудной манипуляцией;
- 2) автоматической регулировки усиления, восстановления тактовой и несущей частот (передискретизация осуществляется программно без подстройки частоты дискретизации АЦП);
- 3) изменения частоты дискретизации;
- 4) кодирования и декодирования сигнальных элементов;
- 5) адаптивной коррекции с обратной связью по решению для всех скоростей;
- 6) адаптивной компенсации эхо-сигналов;
- 7) компенсации фазового дрожания (адаптация компенсатора эхосигналов на ближнем и дальнем конце проводится как на этапе вхождения в связь, так и при передаче данных);
- 8) вхождения в связь;
- 9) блокирования импульсных помех, оценки качества канала связи и скремблирования.

Модулятор состоит из полифазного интерполирующего фильтра, повышающего частоту дискретизации передаваемых отсчетов, и ротатора. Демодулятор содержит ротатор и полифазный фильтр децимации, понижающий частоту дискретизации принимаемого сигнала.

Автоматическая регулировка усиления и фазовая автоподстройка частоты осуществляется как на этапе вхождения в связь, так и при передаче данных.

Адаптивная коррекция отсчетов комплексной огибающей принимаемого сигнала (адаптивное выравнивание телефонных каналов) реализуется методом стохастического градиента. Настройка корректирующего фильтра осуществляется на основе решения декодера Витерби. Кроме того, реализована коррекция с обратной связью по решению [5]. Обновление коэффициентов фильтра проводится методом стохастического градиента так, чтобы минимизировать среднеквадратическое отклонение принимаемых комплексных отсчетов от эталонных. При появлении импульсных помех адаптация корректора временно прекращается.

Пример моделирования работы кодера и декодера для модема с протоколом V.34 показан на рис. 1. Приведены диаграммы рассеяния сигнала, прошедшего через канал с шумом. С помощью виртуальных измерительных устройств, подключенных к модели [6], осуществляется диагностика программного обеспечения.

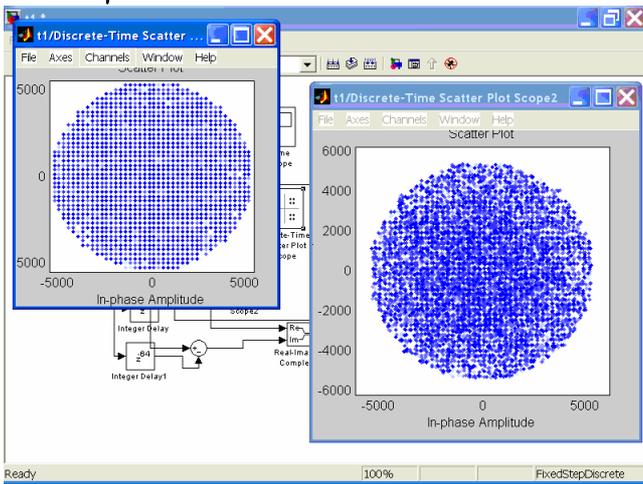


Рис.1. Тестирование кодера и декодера для модема V.34. Скорость 33600 бит/сек, 64 состояние сверточного кодера, символьная скорость 3429 сим/сек, без предкоррекции и нелинейных предсказаний

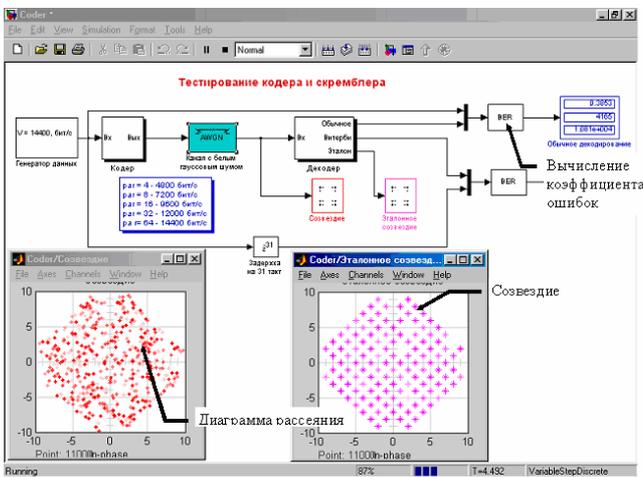


Рис.2. Тестирование кодера и скремблера. C=14400 бит/сек, протокол V32 bis.

На рис. 2 показано тестирование кодера и скремблера модема с протоколом V.32 bis вместе с

реализованным алгоритмом Витерби на скорости 14400 бит/с в условиях канала связи с шумами.

На рис.3 представлена имитационная модель кодера и декодера V.32bis в условиях сильно зашумленного канала связи. Из рисунка видно, что радиусы рассеяния, соответствующие разным точкам созвездия, пересекаются, однако декодер Витерби не допускает ни одного ошибочного бита.

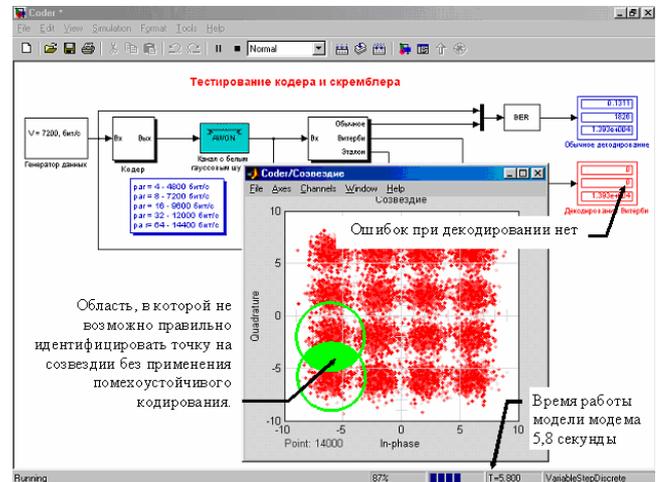


Рис.3. Тестирование кодера и декодера. C=7200 бит/сек, протокол V32 bis.

На втором этапе после моделирования и отладки отдельных блоков в среде Simulink создается модель всего устройства в целом.

На рис. 4 проиллюстрировано тестирование полной сигнальной модели модема V.32bis вместе с эквалайзером и эхо-компенсатором.

На рис.5 показан пример отладки двух модемов в системе Simulink. Проводилась проверка процедуры вхождения в связь и процедур перестройки скоростей. Также проводилась имитация фазового дрожания, смещения тактовой и несущей частоты, эхо-сигналов, шума, частотных искажений и т.д. На рисунке показана диаграмма рассеяния, коэффициенты корректора и компенсатора эхо-сигнала, осциллограмма сигнала и принимаемые данные.

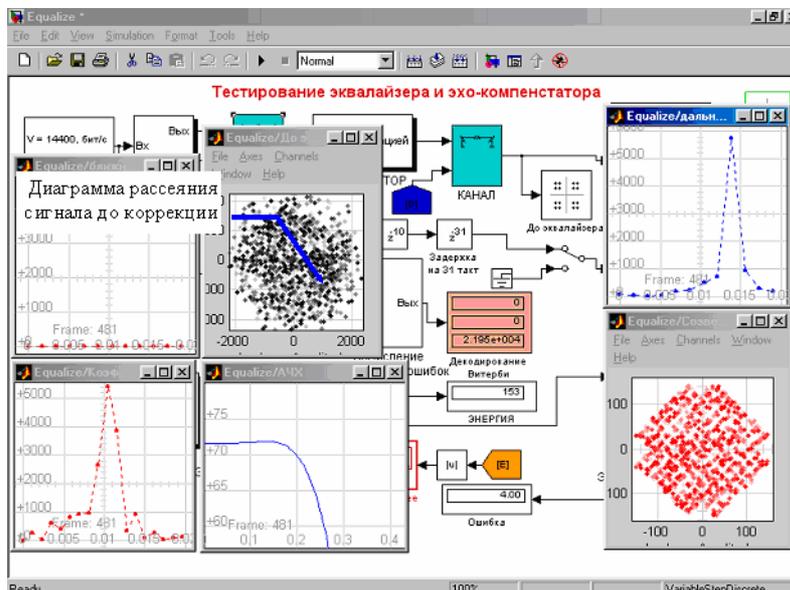


Рис.4. Тестирование эквалайзера и эхо-компенсатора. C=14400 бит/сек.

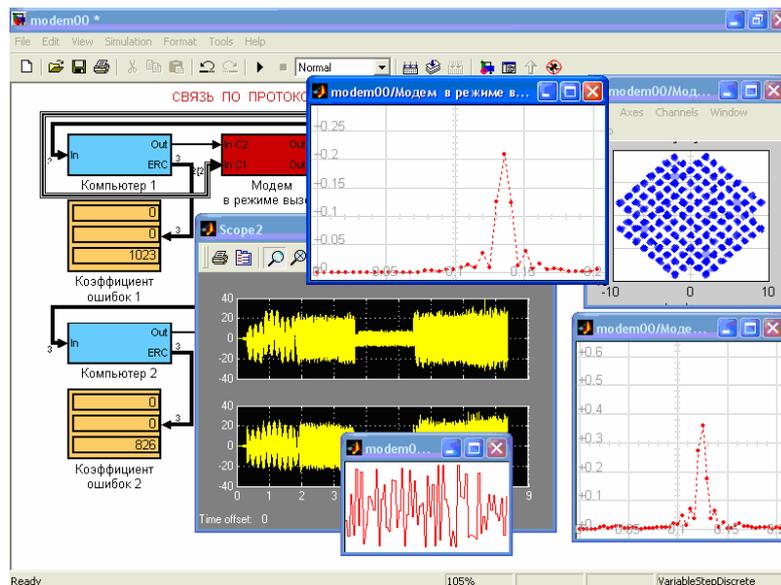


Рис. 5. Пример отладки двух модемов в системе Simulink

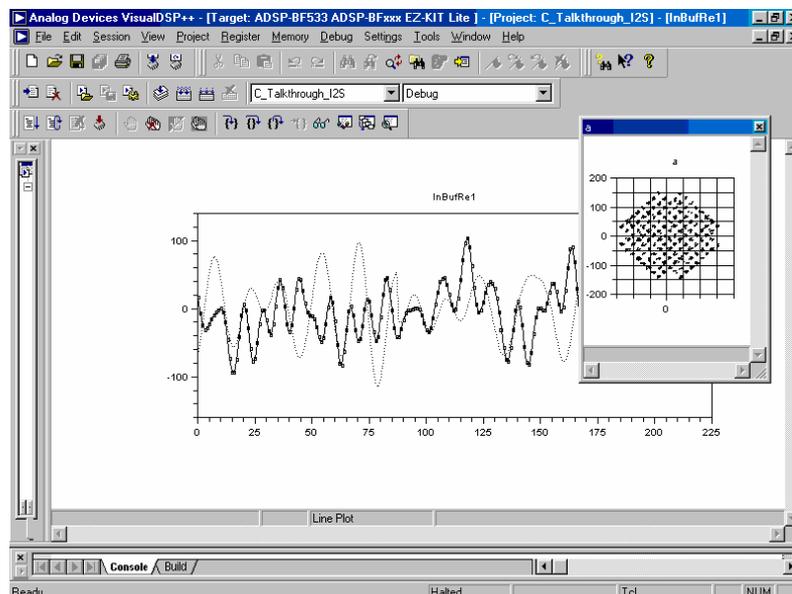


Рис. 6. Тестирование ПО двух модемов V.32 bis на отладочной плате ADSP-BF533 EZ-KIT Lite

На третьем этапе ПО переносится на отладочный комплект. Производится отладка отдельных блоков и исправление команд программы, которые оказались не совместимы. После отладки программы без операций ввода-вывода, производится испытание в реальном масштабе времени. На рис.6 показано тестирование ПО сразу двух модемов V.32 bis на отладочной плате ADSP-BF533 EZ-KIT Lite в режиме реального времени.

Таким образом, данная методика позволяет реализовать весь пакет программного обеспечения цифровой обработки сигналов как единое целое. Использование обратной связи по решению позволяет эффективно бороться не только с существенными частотными искажениями, но и узкополосными помехами. Для проверки работоспособности алгоритма пакет процедур был подключен к системе Simulink, которая является составной частью среды MATLAB 6.5. Были смоделированы отдельные блоки и все устройство модема в целом, а также канал связи с шумами. Полностью проверена работоспособность модема с помощью отладочного комплекта ADSP-BF533 EZ-KIT Lite.

Литература

1. Григоренко Д.В. Аппаратно-программная реализация узла связи сети передачи данных // Труды 8 ВНТК «Новые Информационные технологии в научных исследованиях и в образовании»: Тез. докл. / РГПТА. Рязань, 2003. С.72-75.
2. Осипов В.Г. Техника передачи данных за рубежом // Электросвязь. 1988. №7. С.51-56.
3. Тилл Дж. Искусство проектирования модемов V.32 на 9600 бит/с // Электроника. 1989. №6. С.16-25.
4. Витязев С.В. Новые разработки DSP компаний TEXAS INSTRUMENTS и ANALOG DEVICES // Цифровая обработка сигналов. 2006. №4. С.48-53.
5. Куреши Ш.У.Х. Адаптивная коррекция. // ТИИЭР. 1985. т.73. №9. С. 5-49.
6. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. Серия «Библиотека профессионала». –М.: СОЛОН-Пресс, 2005. -800с.
7. Прокис Д. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. М.: Радио и связь, 2000. 800 с.