

УДК 621.396.96

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ГУДА-ТОМАСА ДЛЯ ДОПЛЕРОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ

Кошелев В.И., Белокуров В.А.

Введение

Доплеровская фильтрация сигналов является одной из ключевых операций решаемых устройством приема и обработки радиолокационных сигналов, от правильного выбора параметров которой зависит обеспечение требуемых вероятностных характеристик обнаружения целей. Обеспечение этих характеристик для целей с заданной эффективной поверхностью рассеяния на предельной дальности может быть достигнуто при различных сочетаниях параметров РЛС, входящих в уравнение дальности радиолокационного обнаружения (УДРО). Анализ УДРО позволяет построить зависимость дальности обнаружения объекта различных параметров, в том числе от количества импульсов в пачке, используемых при доплеровской фильтрации. При изменении количества импульсов изменяется весь набор параметров, входящих в УДРО. Обычно при доплеровской фильтрации сигналов используется алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ), поэтому разработчики стремятся выбирать размерность временной выборки (количество импульсов в пачке), равным целой степени 2. При заданной однозначности измерения скорости (в импульсно-доплеровских РЛС) или дальности (в когерентно-импульсных РЛС) объектов и фиксированном времени обзора лоцируемого пространства число импульсов пачки является зависимым от других параметров и при вычислении принимает произвольное значение.

Цель работы состоит в исследовании возможности вычислительно эффективной программной реализации алгоритма БПФ при произвольном числе импульсов пачки.

Выбор числа импульсов зондирующего сигнала

Как отмечено выше, начальным этапом проектирования радиолокационной станции является анализ УДРО [1]:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{P_p \tau_{\text{имп}} \frac{G^2 \lambda^2 \sigma_c}{(4\pi)^3 q k N T L_p}}, \quad (1)$$

где R_{\max} – максимальная дальность обнаружения цели; P_p – импульсная мощность передатчика; $\tau_{\text{имп}}$ – длительность импульса; G – коэффициент направленного действия антенны; λ – длина волны излучения; σ_c – ЭПР цели; q – пороговое отношение сигнал/шум по мощности; k – постоянная Больцмана; N – шумовая температура приёмника; T – абсолютная температура; L_p – суммарный коэффициент потерь. Как правило, ряд параметров, таких как, P_p , λ , σ_c , G , N , задаётся разработчику.

Статистический синтез устройства обработки радиолокационного сигнала производится в предположении

Рассмотрен вариант программной реализации быстрого алгоритма доплеровской фильтрации радиолокационного сигнала при произвольном числе импульсов в пачке на основе метода Гуда-Томаса. Его применение позволяет сократить вычислительные затраты по сравнению с широко применяемым алгоритмом Кули-Тьюки.

гауссовской статистики аддитивной смеси сигнала, помехи и шума плотности вероятности [1]:

$$W(\mathbf{X}) = (4\pi)^{-N} \det^{-1} \mathbf{B} \exp\left(-\frac{\mathbf{X}^H \mathbf{B}^{-1} \mathbf{X}}{2}\right),$$

где \mathbf{X} – выборочный n -мерный вектор процесса; \mathbf{B} и \mathbf{B}^{-1} – прямая и обратная матрицы обрабатываемого процесса. Правило решения формируется на основе вычисления отношения правдоподобия (ОП) $L(\mathbf{X}) = W_1(\mathbf{X}/H_1)/W_0(\mathbf{X}/H_0)$, где $W_1()$, $W_0()$ – условные плотности вероятностей при гипотезах H_1 и H_0 , соответственно. Структура оптимальной по критерию максимума отношения правдоподобия обработки определяется после логарифмирования ОП: $\xi(\mathbf{X}) = \mathbf{X}^H \mathbf{Q} \mathbf{X}$, где \mathbf{Q} – матрица обработки. При предположении слабых флуктуаций сигнала в пределах пачки, минимальная достаточная статистика приводится к виду (для случая обработки на фоне шумов или декоррелированной помехи): $\xi(\mathbf{X}) = \mathbf{X}^H \mathbf{S}$, где $\mathbf{S} = \{e^{ik\varphi_c}\}$ – вектор ожидаемого сигнала; φ_c – доплеровский набег фазы отражённого сигнала; $k=0, \dots, N-1$.

На практике параметр φ_c априорно неизвестен, поэтому обнаружение производится в многоканальном по доплеровской фазе φ_c сигнала устройстве. В качестве многоканального фильтра обработки используется процессор БПФ. Пороговое отношение сигнал/шум по мощности для данного случая определяется [1]:

$$q = \frac{1}{N} \left(\frac{\ln(F)}{\ln(D)} - 1 \right),$$

где D – вероятность правильного обнаружения цели (задаётся перед этапом проектирования); F – вероятность ложной тревоги на один канал обнаружения; N – число импульсов в пачке зондирующего сигнала, которое выбирается либо, исходя из необходимости обеспечения заданной дальности обнаружения либо, исходя из заданного времени обзора сектора сканирования. Традиционно в обоих случаях полученное число импульсов округлялось до ближайшей степени 2 (N_1), для выполнения БПФ по алгоритму Кули-Тьюки по основанию 2.



Однако округление количества импульсов в пачке до степени 2 приводит при $N_1 < N$ к некоторому снижению дальности обнаружения и ухудшению разрешения целей по скорости, а при $N_1 > N$ к возрастанию времени обзора сектора сканирования. Уменьшение периода повторения импульсов T_n для сохранения $N_1 = N$ приводит к эффекту неоднозначности на максимальной дальности обнаружения. Известный метод дополнения нулевыми отсчетами обрабатываемой выборки до степени 2 также приводит к ухудшению спектрального разрешения в каналах и другим негативным последствиям.

При разработке программного обеспечения РЛС необходимо учитывать дополнительные вычислительные затраты при реализации алгоритмов, устраняющих перечисленные недостатки. Известно [2], что число вычислительных операций, затрачиваемых при реализации БПФ по основанию 2 $V_{БПФ}$ составляет $V_{БПФ} = 2N \log_2(N) + 3N \log_2(N)$. При использовании корреляционно-фильтровой обработки число операций возрастает: $V_{обр} = N_R V_{БПФ}$, где N_R – число каналов по дальности. При обнаружении маневрирующих целей общее число операций: $V_{общ} = N_R V_{БПФ} M_{уск}$, где $M_{уск}$ – число каналов по ускорению.

Известны эффективные алгоритмы вычисления ДПФ произвольной длины. Одним из таких алгоритмов является алгоритм Винограда, который позволяет значительно (до 80%) сократить число умножений, по сравнению с алгоритмом Кули-Тьюки по основанию 2. Однако данный алгоритм обладает исключительно сложной нерегулярной структурой вычислений, вследствие чего, редко применяется на практике. Наиболее приемлемым с этой точки зрения является алгоритм вычисления БПФ Гуда-Томаса [3]. Ниже рассмотрен один из возможных вариантов его программной реализации на базе сигнального процессора ADSP-21062.

Программная реализация метода Гуда-Томаса на сигнальных процессорах

Как известно [3], алгоритм Гуда-Томаса представляет собой способ отображения линейной последовательности из $n=n_1 \cdot n_2$ целых чисел в двумерную таблицу $n_1 \times n_2$, преобразующего одномерное преобразование Фурье в двумерное преобразование Фурье. При этом числа n_1 , n_2 должны быть взаимно простыми. Способ переупорядочивания входной и выходной последовательностей определяется на основе китайской теоремы об остатках:

перестановки входных индексов:

$$i_1 = i \bmod n_1 \quad i = i_1 N_2 n_1 + i_2 N_1 n_2$$

$$i_2 = i \bmod n_2 \quad N_1 n_1 + N_2 n_2 = 1$$

перестановки выходных индексов определяются по правилу:

$$k_1 = N_2 k \bmod n_1, k = n_2 k_1 + n_1 k_2$$

$$k_2 = N_1 k \bmod n_2$$

Выражение для вычисления преобразования Фурье имеет вид:

$$Y_{k_1, k_2} = \sum_{i_1=0}^{n_1-1} \sum_{i_2=0}^{n_2-1} x_{i_1, i_2} \cdot e^{-j \frac{2\pi}{n_1} i_1 k_1} \cdot e^{-j \frac{2\pi}{n_2} i_2 k_2},$$

в котором задаются n_1 -точечное и n_2 -точечные преобразования Фурье.

С точки зрения повышения быстродействия для вычисления ДПФ по строкам и столбцам наиболее целесообразным является использование набора коротких ДПФ алгоритмов Винограда [3], и структурная схема алгоритма приобретает вид, представленный на рис.1.

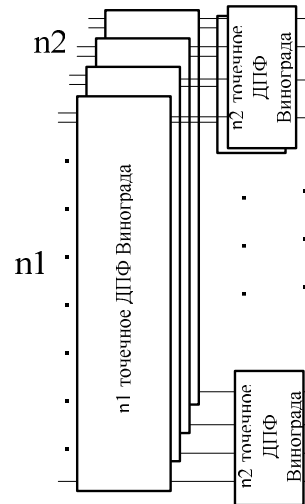


Рис. 1

Число вычислительных операций, затрачиваемых на вычисление коротких ДПФ алгоритмов, представлено в таблице 1.

Число операций, затрачиваемых на реализацию алгоритма Гуда-Томаса, составляет:

$$C = n_1 \cdot C_2 + n_2 \cdot C_1,$$

где C_1 и C_2 определяют число вычислительных операций, затрачиваемых на реализацию n_2 и n_1 точечных ДПФ.

Таблица 1

Порядок ДПФ	Число умножений	Число сложений	Число «сложений/вычитаний»
3	4	12	4
5	10	34	12
7	16	72	20
8	4	52	26
16	20	148	68

Таблица 2

БПФ Гуда-Томаса	Суммарное число операций	БПФ Кули-Тьюки	Суммарное число операций
15 точек	222	16 точек	320
40 точек	632	64 точки	1920
80 точек	1544	128 точки	4480

В таблице 2 представлены сравнительные данные с БПФ Кули-Тьюки по основанию 2:

При программной реализации алгоритма необходимо учитывать отсутствие в алгоритме Гуда-Томаса битреверсивной адресации. Также необходимо отметить возможность вычисления операции типа «сложение/вычитание», а также операции чтения и записи из памяти программы или памяти данных за один такт. При этом вычислительная эффективность по тактам будет отличаться от представленных в таблице 2 данных.

Рассмотрим пример $n=15$, $n_1=3$, $n_2=5$. Перестановки входных и выходных отсчётов будут определяться правилами:

$$\begin{bmatrix} 0 & 6 & 12 & 3 & 9 \\ 10 & 1 & 7 & 13 & 4 \\ 5 & 11 & 2 & 8 & 14 \end{bmatrix} \text{ и } \begin{bmatrix} 0 & 3 & 6 & 9 & 12 \\ 5 & 8 & 11 & 14 & 2 \\ 10 & 13 & 1 & 4 & 7 \end{bmatrix}, \text{ соответственно.}$$

Данные двумерные таблицы преобразуются в одномерные для циклов по n_1 и по n_2 , а также для заключительной переадресации:

.VAR input_3dff[15] = 0, 10, 5, 6, 1, 11, 12, 7, 2, 3, 13, 8, 9, 4, 14;

.VAR input_5dff[15] = 0, 6, 12, 3, 9, 10, 1, 7, 13, 4, 5, 11, 2, 8, 14;

.VAR output_dff[15] = 0, 5, 10, 3, 8, 13, 6, 11, 1, 9, 14, 4, 12, 2, 7.

Для повышения быстродействия тексты малых ДПФ Винограда размещаются в циклах.

```
lcntr = 5, do cikl_5iter_3dff until lce;
  f0 = dm(m1,i0);
  f1 = dm(m2,i0);
  f0 = f0 + f1, f1 = f0 - f1, f2 = dm(m0,i0);
  f2 = f2 + f0;
  f0 = f0 * f15, dm(m0,i2) = f2;
  f8 = dm(m1,i1);
  f9 = dm(m2,i1);
  f8 = f8 + f9, f9 = f8 - f9, f10 = dm(m0,i1);
  f10 = f10 + f8;
  f8 = f8 * f15, dm(m0,i3) = f10;
  f9 = f9 * f13;
  f1 = f1 * f14;
  f2 = f2 + f0;
```

```
f2 = f2 + f9, f9 = f2 - f9;
f10 = f10 + f8, dm(m2,i2) = f2;
f10 = f10 + f1, f1 = f10 - f1, dm(m1,i2) = f9;
dm(m2,i3) = f10;
dm(m1,i3) = f1;
r0 = dm(i4,m4);
r1 = dm(i4,m4);
r2 = dm(i4,m4);
m0 = r0;
m1 = r1;
```

cikl_5iter_3dff: m2 = r2;

Результаты вычисления коротких ДПФ Винограда размещаются в промежуточных буферах для действительной и мнимой частей, соответственно.

Заключительным этапом преобразования является выходная перестановка отсчётов.

// Перестановка выходных индексов

```
lcntr = 15, do label_out until lce;
  r0 = dm(i4,m4);
  f0 = dm(m0,i0);
  dm(i2,m2) = f0;
  f0 = dm(m0,i1);
  label_out: dm(i3,m3) = f0;
```

Время выполнения ДПФ на 15 точек составило 456 тактов, время вычисления БПФ Кули-Тьюки на 16 точек составило 740 тактов.

Таким образом, программная реализация алгоритма Гуда-Томаса имеет простую структуру и требует многократного использования коротких ДПФ Винограда. Целесообразным является использование коротких ДПФ Винограда на 4, 8, 16 точек, так как данные алгоритмы содержат значительное число операций «сложение/вычитание».

Литература

1. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника. 2007. 376 с.
2. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1989. 451 с.
3. Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления свёрток. М.: Радио и связь, 1985. 248 с.

«ЦОС В УНИВЕРСИТЕТАХ» - НОВАЯ РУБРИКА ЖУРНАЛА

В течение ряда лет, начиная с первого выпуска в 1999 году, редакция журнала систематически отслеживает появление на мировом и российском рынках новых перспективных DSP-технологий и знакомит читателей с тенденциями и направлениями развития цифровых сигнальных процессоров и инструментальных средств проектирования систем ЦОС на их основе. За прошедшие годы неоднократно публиковались статьи, отражающие развитие DSP-технологий таких мировых лидеров в этой области, как компании Texas Instruments Inc. и Analog Devices Inc. Что особенно приятно отметить – редакция журнала всегда откликнулась одной из первых на новые разработки в области DSP-технологий отечественных фирм: НТЦ «Модуль», ГУП НПЦ «ЭЛВИС», ЗАО «Инструментальные системы», ЗАО «АВТЭКС», ЗАО «СКАН Инжиниринг-телеком» и др.

Отвечая целям и задачам укрепления и расширения сотрудничества с ведущими мировыми и отечественными производителями современной элементной базы DSP-технологий и средств проектирования систем ЦОС, с одной стороны, и российскими вузами, с другой стороны, редакция журнала открывает новую рубрику: «ЦОС в университетах». В рамках новой рубрики найдут отражение вопросы организации учебного процесса и учебно-методического обеспечения по широкому спектру дисциплин, связанных с применением ЦОС и DSP-технологий, текущая информация об университетских программах, семинарах и конкурсах фирм-производителей, новых разработках научных лабораторий российских вузов.

Новая рубрика открывается информацией об Университетской программе компании Texas Instruments Inc. (США), любезно предоставленной ее менеджером в странах Европы и Северной Африки Робертом Оуэном и координатором Программы в России и странах СНГ А. Петровским. Приглашаем к сотрудничеству все заинтересованные организации и творческие коллективы преподавателей и сотрудников российских вузов и стран СНГ, работающих в области ЦОС и DSP-технологий.

Зам. Главного редактора, профессор Владимир В. Витязев

УНИВЕРСИТЕТСКАЯ ПРОГРАММА КОМПАНИИ TEXAS INSTRUMENTS, часть 1

Компания Texas Instruments Incorporated – мировой лидер в области технологий цифровой обработки сигналов, аналоговых устройств и полупроводниковой техники – проводит на территории Европы, Ближнего Востока и Африки программу университетского образования, призванную обеспечить поддержку образовательных курсов и научно-исследовательских работ учебных заведений, посвященных передовым методам цифровой обработки сигналов и информационным технологиям реального времени.

Почему компания Texas Instruments уделяет большое внимание образованию? Во-первых, Texas Instruments заинтересована в том, чтобы научить следующее поколение инженеров, а пока еще студентов, работать с технологиями завтрашнего дня. Во-вторых, осуществляя поддержку научно-исследовательской деятельности ВУЗов, Texas Instruments способствует расширению сфер применения технологий реального времени и стимулирует инновации в этой области. В-третьих, программа компании позволяет в рамках научно-исследовательских проектов получать образцы готовых изделий, что способствует взаимодействию учебных заведений с промышленностью и внедрению новых наукоемких технологий в производство. При решении всех этих задач компания Texas Instruments опирается на свою продукцию, укрепляя, тем самым, собственные позиции на мировом рынке.

Рассмотрим конкретные механизмы реализации Университетской программы компании Texas Instruments. К ним относятся:

- специальные цены для ВУЗов (University Pricing – университетский прайс-лист);

- возможность общения со специалистами Texas Instruments и своими коллегами;
- обучающие программы (повышение квалификаций преподавателей);
- специальные обучающие диски (Teaching ROMs), материалы семинаров, конференций, книги, статьи и др.;
- техническая поддержка от специалистов Texas Instruments;
- оборудование для реализации научно-исследовательских проектов, подготовки диссертаций или написания дипломных работ;
- цифровые и аналоговые средства для организации учебных лабораторий.

Предоставляя все это университетам, компания Texas Instruments ожидает от них только одного: максимально широко использования современных технологий обработки сигналов реального времени на базе продуктов Texas Instruments в учебном процессе и научно-исследовательских работах.

В настоящий момент в Университетской программе Texas Instruments задействовано более 1200 технических университетов в Европе. В России насчитывается около 50 лабораторий, оборудованных при содействии компании TI в различных ВУЗах страны, и мы надеемся размещать информацию о них на страницах журнала или сайта www.dsps.ru/cosvuz.

Остановимся на каждом перечисленном пункте программы Texas Instruments более подробно.

Университетский прайс-лист. Аппаратные и программные средства разработки компании Texas Instruments могут быть приобретены по специальным ценам. Перечень

предлагаемых инструментов (не все продукты Texas Instruments попадают в данную категорию) и их стоимость по Университетской программе можно найти на сайте: www.ti.com/pricelist. Например, среда разработки и отладки программного обеспечения Code Composer Studio стоимостью более трех с половиной тысяч долларов может быть приобретена в рамках Университетской программы по цене девятьсот долларов (приводятся ориентировочные цены), а стартовый набор разработчика на процессоре C6713 стоимостью триста девяносто пять долларов – по цене триста пятьдесят пять долларов (приводятся ориентировочные цены). При рассмотрении вопроса о поставке оборудования в тот или иной ВУЗ компания TI всегда готова к поиску компромиссных решений, особенно в тех ситуациях, когда заметна самостоятельная активная работа ВУЗа в соответствующем направлении.

Оплата и приобретение продукции Texas Instruments по Университетской программе осуществляется через авторизированных дистрибьюторов компании в России. Наиболее зарекомендовали себя в работе с ВУЗами следующие фирмы: ЗАО «Сканти-рус» (www.scanti.ru) и «Компэл» (www.compel.ru).

Обучение. Компания Texas Instruments дает возможность преподавателям и сотрудникам ВУЗов повысить свою квалификацию в области технологий реального времени. С этой целью организуются практические семинары, на которых участникам предоставляется возможность поработать с аппаратными и программными средствами Texas Instruments под руководством специалистов. Такие семинары проводятся компанией достаточно часто в различных городах мира: Париже, Мюнхене, Милане, Тель-Авиве, Москве. В России подобные мероприятия проводились уже неоднократно и начинают принимать периодический характер. Узнать о семинарах можно на сайте Texas Instruments: www.ti.com/europe/workshops, а так же в новостях журнала «Цифровая обработка сигналов»: www.dsps.ru.

Семинары (workshops) дают возможность получить практические навыки работы с инструментальными средствами Texas Instruments. Это могут быть или однодневные технические семинары, или четырехдневные семинары по проектированию. Они охватывают весьма широкую тематику, начиная от программирования DSP и микроконтроллеров конкретных платформ и заканчивая аналоговой техникой и вопросами проектирования систем обработки сигналов в различных приложениях.

Семинары проводятся компанией не только для университетов, но и для представителей коммерческих организаций. Однако для ВУЗов участие в подобных мероприятиях возможно с 50%-ой скидкой. Кроме того, для представителей ВУЗов всегда выделяются бесплатные места.

Очень эффективным источником технической и любой другой информации, касающейся продукции Texas Instruments, является Европейский центр поддержки. В случае каких-либо затруднений или вопросов, связанных с использованием продуктов компании, всегда есть возможность позвонить по телефону или отправить письмо по электронной почте eric@ti.com и получить квалифицированную помощь технических специалистов Texas Instruments. Чрезвычайно важным для Российского пользовате-

ля является то, что телефонный звонок в Европейский центр поддержки Texas Instruments может быть осуществлен по московскому номеру +7 (495) 981 0701, и разговор ведется на русском языке. Преподавателям и сотрудникам ВУЗов не следует давать эту контактную информацию студентам, чтобы на специалистов центра не обрушился поток ученических вопросов. Следует соблюдать правило: студент задает вопросы преподавателю, преподаватель, при необходимости консультируется со специалистами Texas Instruments.

Предлагаемые средства. В рамках Университетской программы компания Texas Instruments предлагает все свои базовые аппаратные и программные инструментальные средства разработки. В области цифровых сигнальных процессоров это, в первую очередь, стартовые наборы разработчика (DSK) стоимостью не более 500 долларов. Такие наборы являются идеальным решением для быстрой организации лабораторных курсов по различным дисциплинам, связанным с обработкой сигналов. В семействе процессоров C5000, ориентированных на телекоммуникационные приложения, предлагаются наборы DSK на базе процессоров C5416 и C5510. В семействе C6000 – наиболее производительном классе DSP компании Texas Instruments – предлагаются DSK C6713 и C6416. В семействе сигнальных контроллеров C2000, используемых в системах управления, доступны DSK LF2407 и F2812.

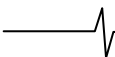
Более сложными модулями, стоящими по несколько тысяч долларов, и ориентированными на научно-исследовательские проекты, являются оценочные модули EVM. В семействе C5000 – это плата на базе DSP C5509 со специальными инструментами по оптимизации потребления энергии. В семействе C6000 предлагается целый ряд плат, ориентированных на обработку видео и аудиоданных. В семействе C2000 предлагается плата на базе процессора F2812.

Кроме перечисленных инструментов еще одним аппаратным средством разработки являются эмуляторы, позволяющие работать с процессором, встроенным в конечный продукт (плату собственного изготовления). Стоимость экземпляров лежит в диапазоне одной-двух тысяч долларов.

Совместно с перечисленными средствами или независимо от них поставляется программная среда разработки и отладки приложений на базе DSP Texas Instruments под названием Code Composer Studio.

Остановимся на некоторых из перечисленных средств более подробно.

Стартовый набор разработчика на процессоре TMS320C2812 предназначен для реализации приложений цифрового управления. За 335 долларов* вы приобретаете плату с 32-битным сигнальным контроллером с фиксированной точкой, работающим на частоте 150 МГц и имеющим внутреннее ОЗУ 18 К слов и внутреннее ПЗУ Flash объемом 128 К слов. Последнее позволяет плате выполнять ваши программы, будучи автономным устройством. На плате также имеется микросхема внешней памяти ОЗУ объемом 64 К слов и интерфейс JTAG, обеспечивающий связь платы с персональным компьютером для полнофункциональной разработки, отладки и оптимизации программного обеспечения в среде Code Composer Studio, входящей в состав набора. Имеющиеся стандартные ин-



терфейсы дают возможность подключать к плате внешние аналоговые и цифровые схемы и быстро создавать на ее основе законченную систему обработки сигналов, демонстрирующую эффективность современных технологий (в рамках лабораторных курсов) или решающую требуемые технические задачи (в рамках дипломного проектирования или исследовательских работ).

Стартовые наборы на процессорах TMS320C6713 (плавающая точка) и TMS320C6416 (фиксированная точка) сохраняют принципы организации набора C2812, но относятся к самому мощному классу процессоров TI и ориентированы, в первую очередь, на обработку аудиосигналов. Рабочие частоты устройств – 225 МГц и 1 ГГц, соответственно (имеется также стартовый набор разработчика на процессоре TMS320C6455 с тактовой частотой 1.2 ГГц). Стоимость плат – 355 и 445 долларов*. На платах размещен кодек, реализующий аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразования. Его выводы заведены на стандартные разъемы аудиосигналов. Благодаря этому очень просто становится организовать типовую схему цифровой обработки сигнала: аналоговый вход, АЦП, обработка на цифровом процессоре, ЦАП, аналоговый выход, работающие в реальном времени и наглядно демонстрирующие функционирование системы. Типовым случаем является подключение к аналоговому входу платы микрофона или звуковой платы персонального компьютера, а к выходу – колонок. В этом случае становится очень удобно воспринимать на слух те изменения, которые вносит ваша программа в исходный сигнал – произносимую в микрофон речь или проигрываемое на компьютере музыкальное произведение. При этом все входные, промежуточные и результирующие сигналы и их спектры могут быть графически отображены в окнах среды Code Composer Studio.

Относительно новым устройством, предлагаемым компанией TI в качестве стартового набора разработчика, является платформа разработки систем цифрового видео на процессоре TMS320C6437. Стоимость данной платы составляет 495 долларов*. Ее уникальность заключается в наличии не только аудио, но и стандартных видеоразъемов. Таким образом, плата становится ориентированной на обработку видеосигналов и изображений, а это дает стартовым наборам разработчика новый уровень функциональности и демонстративности. В состав платформы входит широкий набор типового программного обеспечения обработки звуковых, речевых и видеосигналов, в частности кодеки H.264, MPEG-4 и G.711.

Отдельно выделим программную среду разработки и отладки программного обеспечения DSP Code Composer Studio. Она может быть приобретена отдельно и дать огромные возможности по обучению разработке программ для DSP. Входящие в ее состав программы-симуляторы позволяют полноценно имитировать работу с процессором любого семейства, не имея аппаратного обеспечения. Можно сказать, что среды Code Composer Studio может быть вполне достаточно для глубокого изучения архитектуры процессора и обучения работе с ним. Аппаратные средства, такие как DSK, становятся необходимы лишь для наглядности работы системы ЦОС и тогда, когда необходимо иметь дело с реальными аналоговыми сигналами. В рамках Университетской программы TI возможно приобретение интегрированной среды разработки Code Composer Studio с необходимым количеством авторизаций для лаборатории.

К другим программным инструментальным средствам разработки, заслуживающим особого внимания, хотелось бы отнести связь мощной и популярной системы МАТЛАБ со средой Code Composer Studio и шаблоны программного обеспечения Reference Frameworks. Связь МАТЛАБ и CCS дает уникальные возможности перехода от математики и исследований алгоритма к реализации системы на аппаратной платформе, например, на плате DSK. В частности, специальный демонстрационный диск с системой МАТЛАБ, поддерживающей взаимодействие с Code Composer Studio, прилагается к стартовому набору разработчика на процессоре TMS320C6713. Заметим, что данный инструмент, несмотря на всю свою эффективность и привлекательность, не является «волшебной палочкой» превращающей любой алгоритм в эффективно работающий проект на цифровом сигнальном процессоре. Во-первых, чтобы хорошо освоить этот инструмент понадобится немало времени. А во-вторых, все равно его основной задачей останется ускорение процесса разработки программного обеспечения; помощь в создании программных кодов, но не замена этих процедур.

Шаблоны программного обеспечения, так же как и другие типовые программные модули от компании Texas Instruments, могут оказать существенную помощь при начальном ознакомлении с программированием DSP. Они закладывают фундамент, на основе которого можно создавать собственные программы, опираясь на надежный, проверенный и эффективный код.

На этом мы заканчиваем первую часть статьи, посвященной обзору Университетской программы компании Texas Instruments Inc. Вторая часть готовится к публикации в следующем номере журнала «Цифровая обработка сигналов». В ней мы постараемся осветить еще ряд средств, доступных для приобретения ВУЗами в рамках университетской программы, в частности, среди аналоговых устройств и микроконтроллеров; расскажем об обучающих дисках, доступных для преподавателей и представителей ВУЗов; о вознаграждении, на которое могут рассчитывать наиболее активные и продуктивные студенты, а также подведем итог изложенному материалу – ответим на вопрос: как подключиться к Университетской программе TI и что конкретно дает участие в этой программе.

Настоящее информационное сообщение подготовлено на основе материалов доклада менеджера Университетской программы TI в странах Восточной и Западной Европы и Северной Африки Роберта Оуэна (rcwo@ti.com) и координатора Университетской программы TI в России и странах СНГ Алексея Петровского (petrovsky@bsuir.by). Еще раз обращаем ваше внимание на открытие нового раздела сайта журнала «Цифровая обработка сигналов» под названием «ЦОС в университетах». На его страницах мы намерены давать информацию об университетских программах фирм-производителей оборудования ЦОС и рассказывать о научных и учебных лабораториях, имеющих и появляющихся в российских ВУЗах. Все заинтересованные организации приглашаем к сотрудничеству.

** указанные в статье цены являются ориентировочными, взятыми с сайта компании TI в декабре 2007 года. Чтобы узнать цены, действующие на текущий момент на территории Российской Федерации, обращайтесь к представителям TI в России.*