

тических сценария SRES (A1B, A2, B1, B2) и четыре сценария RCP (RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5, RCP3-PD) [3, 4]. Проведя моделирование для каждого сценария, пользователь получит глобальные поля, т. е. поля, охватывающие всю планету.

Оптимизация модели «Planet Simulator»

Конкретным результатом моделирования являются двумерные и трехмерные поля геоданных, содержащих среднесуточные показатели параметров за весь период моделирования, а также информацию о размерности поля, вертикальные и горизонтальные координаты, которые записываются в файл через заданные пользователем временные интервалы. После проведения моделирования для приведения результатов к унифицированному формату, используемому в рамках платформы, полученные файлы-результаты были перереформатированы. В качестве унифицированного формата данных был выбран формат NetCDF, являющийся международным стандартом хранения метеорологических и климатических данных, а также данных моделирования. Для этого были внесены соответствующие изменения в программный код модели. Оригинальная функция записи данных в модели была сохранена с целью сохранения возможности использования полученных данных в качестве входных для «Planet Simulator».

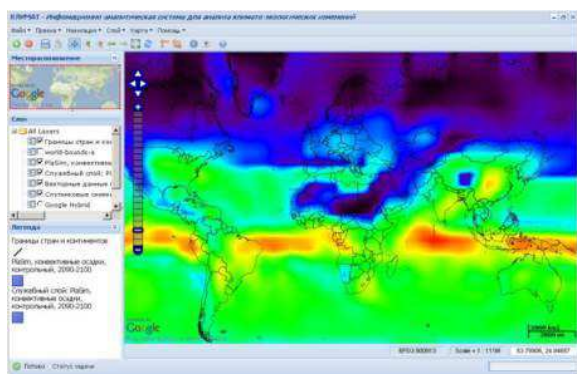


Рис. 2. Пример изображения поля, полученного при помощи модели «Planet Simulator»

Далее файлы были сохранены в архиве, который затем был подключен к веб-ГИС системе. Таким образом, пользователю была предоставлена возможность выполнения анализа возможных в будущем климатических изменений, используя интегрированные в платформу вычислительные модули, без предварительного запуска модели (рис. 2).

Глобальная крупномасштабная модель климатической системы промежуточной сложности «Planet Simulator», требует определенных затрат времени и сил на ее установку и настройку. Осуществив интеграцию модели в веб-приложение, мы предоставили пользователю возможность использовать для своих исследований модель «Planet Simulator» без необходимости предварительной установки и настройки. Созданный архив климатических проекций позволит пользователю проводить анализ возможных будущих климатических изменений быстрее, чем если бы ему пришлось предварительно самостоятельно проводить моделирование согласно климатическим сценариям. Использование стандартизированного формата NetCDF позволит использовать полученные данные не только в модели «Planet Simulator», но и в других программных продуктах.

Литература

1. Fraedrich K., Jansen H., Kirk E., Luksch U., Lunkeit F. The Planet Simulator: Towards a user friendly model // Meteorol. Z. – 2005. – V.14. – No 3. – 299-304.
2. Гордов Е.П., Окладников И.Г., Титов А.Г., Богомолов В.Ю., Шульгина Т.М., Генина Е.Ю. Геоинформационная веб-система для исследования региональных природно-климатических изменений и первые результаты ее использования // Оптика атмосферы и океана. – 2012. – Т.25. – № 2. – С. 137-143.
3. МГЭИК: 2000. Специальный доклад МГЭИК. Сценарии выбросов.
4. Meinshausen M., Smith S., et al. The RCP Greenhouse Gas Concentrations and their extension from 1765 to 2500 // Climatic Change. – 2011. – Special Issue on RCPs.

РЕАЛИЗАЦИЯ БПФ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ С АРХИТЕКТУРОЙ ARM CORTEX M4

Буй Б.З.

Научный руководитель: Аврамчук В.С.
Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30
E-mail: saivnct@gmail.com

В связи с непрерывно увеличивающимся числом приложений, которые предъявляют повышенные требования по производительности обработки данных, намечается тенденция повышения спроса на 32-разрядные микроконтроллеры.

В настоящее время архитектура ARM занимает лидирующие позиции и охватывает 75% рынка 32-разрядные встраиваемых RISC-микропроцессоров. Распространенность данного ядра объясняется его стандартностью, что предоставляет возможность разработчику более гибко использовать, как свои,

так и сторонние программные наработки, как при переходе на новое процессорное ARM-ядро, так и при миграциях между разными типами ARM-микроконтроллеров.

Процессорные ядра Cortex M – результат прогрессивного развития классической архитектуры ARM. Cortex M становится все более популярной. И сегодня процессорные ядра Cortex M – это семейство со стандартизированной архитектурой, предназначенное для решения широкого круга технологических задач.

Cortex-M4 – последняя на сегодняшний день разработка в подсемействе Cortex M. Это встраиваемое процессорное ядро. Ядро разработано для систем, требующих простое в применении устройство, сочетающее функции управления и цифровой обработки сигнала. Cortex-M4 отличается поддержкой одноктактной операции умножения с запоминанием за один такт и оптимизированной арифметики.

Перечислим основные достоинства микроконтроллеров ARM Cortex-M4 [1]:

полностью 32-битная архитектура: все регистры 32-битные, арифметические операции работают с 32-битными данными; операция умножения 32-разрядных чисел выполняется за 1 такт, деление за 2-12 тактов. За счет высокой разрядности эти микропроцессоры отличаются высоким быстродействием по сравнению с 8-ми и 16-битными микроконтроллерами;

характерное для архитектуры RISC большое количество (от 16) регистров общего назначения; поддержка режимов энергосбережения; наличие 24-битного системного таймера (SysTick) позволяющего задавать интервалы срабатывания в широких пределах. Это неоспоримое достоинство при реализации конечных автоматов и планировщика RTOS;

полноценная поддержка специализированного аппаратного интерфейса на базе стандарта IEEE 1149.1 (Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture). Интерфейс предназначен для подключения сложных цифровых микросхем или устройств уровня печатной платы к стандартной аппаратуре тестирования и отладки; встроенный контроллер прерываний (Nested Vectored Interrupt Controller (NVIC)) поддерживает до 240 прерываний и до 256 приоритетов, при этом обеспечивает высокоскоростную реакцию на прерывания;

полноценная поддержка и реализация прямого доступа к памяти (Direct Memory Access) реализована на специализированном контроллере DMA, позволяющем периферийным устройствам со следующими интерфейсами: UART, SPI, I2C отправлять/записывать данные в оперативную память микроконтроллера без его непосредственного участия, что значительно повышает быстродействие устройства;

- специализированный набор инструкций Thumb-2 [1] позволяет создавать весьма компактный исполняемый код; разработанный набор инструкций ориентирован на работу с популярным компилятором языка высокого уровня C; продвинутые средства разработки и отладки программного кода.

Рассмотренные микроконтроллеры Cortex M4 находят широкое применение в устройствах цифровой обработки сигналов (ЦОС). Cortex M4 имеют производительность до 375 DMips/МГц, низкое потребление энергии и, как правило, наличие разнообразных периферийных устройств, выполненных на кристалле, что делает данный тип микроконтроллеров подходящим средством для реализации цифровой обработки сигналов в недорогих устройствах.

Расчета спектрального состава сигнала является одной из наиболее распространенных задач ЦОС. Задача заключается в вычислении дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Среди существующих алгоритмов расчета спектрального состава сигналов наиболее известен и легко реализуем алгоритм Кули-Тьюки [2]. Это весьма эффективный алгоритм вычисления ДПФ, получивший название быстрого преобразования Фурье (БПФ) [3]. Основным эффектом от использования этого способа вычисления будет проявляться при значительном размере выборки дискретизированного сигнала. При использовании данного алгоритма основное время выполнения преобразования Фурье будет определяться временем вычисления двухточечного преобразования, которое принято называть «бабочкой» [4]. Эта базовая операция записывается следующим образом:

$$y_1 = x_1 + x_2 \cdot w,$$

$$y_2 = x_1 - x_2 \cdot w,$$

где x_1 , x_2 – исходные точки, y_1 , y_2 – результат, w – комплексный коэффициент.

На основании выбранного алгоритма вычисления БПФ была создана программа расчета спектрального состава сигнала на микроконтроллере Cortex M4 STM32F407VGT6. Разработка программы осуществлялась исходя из условий.

Благодаря тому, что микроконтроллеры Cortex M4 полностью поддерживают библиотеку цифровой обработки сигнала CMSIS, в которой имеется алгоритм Кули-Тьюки, в данной работе используется эта библиотека. Ниже приведен листинг программного кода функции реализующей двухточечное преобразование «бабочка», написанный на языке C для процессоров с архитектурой ARM Cortex M4.

```
void arm_radix2_butterfly_f32(  
float32_t * pSrc,  
uint32_t fftLen,  
float32_t * pCoef,  
uint16_t twidCoefModifier)
```

```
{
uint32_t i, j, k, l;
uint32_t n1, n2, ia;
float32_t xt, yt, cosVal, sinVal;
float32_t p0, p1, p2, p3;
float32_t a0, a1;
n2 = fftLen;
for (k = fftLen; k > 1; k = k >> 1)
{
    n1 = n2;
    n2 = n2 >> 1;
    ia = 0;
    j = 0;
    do
    {
        cosVal = pCoef[ia * 2];
        sinVal = pCoef[ia * 2 + 1];
        ia += twidCoefModifier;
        i = j;
        do
        {
            l = i + n2;
            a0 = pSrc[2 * i] + pSrc[2 * l];
            xt = pSrc[2 * i] - pSrc[2 * l];
            yt = pSrc[2 * i + 1] - pSrc[2 * l + 1];
            a1 = pSrc[2 * l + 1] + pSrc[2 * i + 1];
            p0 = xt * cosVal;
            p1 = yt * sinVal;
            p2 = yt * cosVal;
            p3 = xt * sinVal;
            pSrc[2 * i] = a0;
            pSrc[2 * i + 1] = a1;
            pSrc[2 * l] = p0 + p1;
            pSrc[2 * l + 1] = p2 - p3;
            i += n1;
        } while(i < fftLen);
        j++;
    } while(j < n2);
    twidCoefModifier <= 1u;
}
}
```

Разработанный алгоритм прошел тестирование на размерах выборок 1024, 2048 и 4096. ARM Cortex M4 позволяет проводить вычисления БПФ в режиме реального времени с задерж-

кой необходимой для накопления анализируемых данных.

Реализованный алгоритм БПФ может быть использован в качестве базового при расчете частотно-временных корреляционных функций [5-7].

Заключение

Применение микропроцессоров ARM Cortex M4 в устройствах цифровой обработки сигналов позволяет избежать использования специализированных и имеющих большую стоимость устройств.

На основе рассмотренного микропроцессора ARM Cortex M4 планируется разработка базового устройства обработки цифровых сигналов. Созданные алгоритмы также будут использованы при разработке портативного прибора обнаружения утечек в трубопроводах.

Литература

1. Martin T. The insider's Guide To the STM32 ARM Based Microcontroller. Hitex (UK) Inc., Coventry, 2009. – P. 106.
2. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-е изд. – М.: Вильямс, 2008. – 992 с.
3. Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления свертки. – М.: Радио и связь, 1985. – 248 с.
4. Л. Рабинера и Б. Гоулда Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Издательство «Мир», 1978 г. – 847 с
5. Аврамчук В.С., Чан Вьет Тьяу. Частотно-временной корреляционный анализ цифровых сигналов // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 5. – С. 112–115.
6. Аврамчук В.С. Определение наличия гармонических составляющих и их частот в дискретных сигналах на основе автокорреляционной функции // Известия Томского политехнического университета. – 2012 - Т. 321 – №. 5 – С. 113–116.
7. Аврамчук В.С., Гончаров В.И., Чан Вьет Тьяу. Частотно-временной корреляционный анализ в задачах определения координат утечек в трубопроводах // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – № 2. – С. 70–73.

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ КОРРЕЛЯЦИОННОГО МЕТОДА ПОИСКА УТЕЧЕК ЖИДКОСТЕЙ ИЗ ТРУБОПРОВОДОВ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ С АРХИТЕКТУРОЙ ARM CORTEX M4

Буй Б.З.

Научный руководитель: Аврамчук В.С.
Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30
E-mail: saivnct@gmail.com

В различных отраслях промышленности и жилищно-коммунального хозяйства используется огромное количество трубопроводов, работающих

под давлением, доступ к которым затруднен (трубопроводы под слоем грунта, воды и т.д.). Как известно, в процессе эксплуатации трубопровода