

```
{
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 = pCoeff[ia * 2];
sinVal = pCoeff[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

зарождаются различные дефекты: трещины, утонения стенки и сквозные дефекты, расклеивания стыковых соединений и др. Проблема выявления таких дефектов постоянно остается актуальной.

В настоящее время существуют различные методы поиска утечек такие как:

- метод выявления утечек по анализу профиля давления;
- объемно-балансовый метод контроля герметичности;
- вакуумный метод поиска утечек;
- гелиевый метод поиска утечек;
- жидкостный метод контроля герметичности;
- тепловизионный метод контроля герметичности;
- акустический метод поиска утечек воды.

Перечисленные методы имеют следующие недостатки:

- низкая точность;
- низкая надежность при больших глубинах прокладки трубопроводов;
- низкая;
- процесс обнаружения трудоемок;
- требуется сложной настройки;
- высокая цена оборудования (тепловизионный метод).

Наиболее перспективным является корреляционный метод поиска утечек. Он позволяет снизить перечисленные недостатки и получить более точные расчетные данные.

Существующие на рынке корреляционные течеискатели выполнены, как правило, в 2-х вариантах исполнения: с использованием портативного компьютера и автономного устройства.

Целью данной работы является разработка корреляционного течеискателя на основе взаимной корреляционной функции с использованием микроконтроллера с архитектурой ARM Cortex M4 – STM32F407VGT6 производителя STMicroelectronics [1].

Суть метода проиллюстрирована на рисунке 1 и заключается в нахождении взаимной корреляционной функции и вычислении по ней координаты утечки.

Если два датчика установить так, что предполагаемое место утечки будет находиться между датчиками, то по взаимной корреляционной функции можно определить разницу во времени (задержку) Δt прихода сигнала от места утечки до датчиков. При этом, зная скорость распространения акустического сигнала по трубе v , и расстояние между датчиками l можно определить место расположения утечки по формуле:

$$x = \frac{v \cdot \Delta t}{2}, \quad (1)$$

или

$$x_{1,2} = \frac{l}{2} \pm \frac{v \cdot \Delta t}{2}, \quad (2)$$

где $x_{1,2}$ – расстояние от утечки до первого или второго датчика.

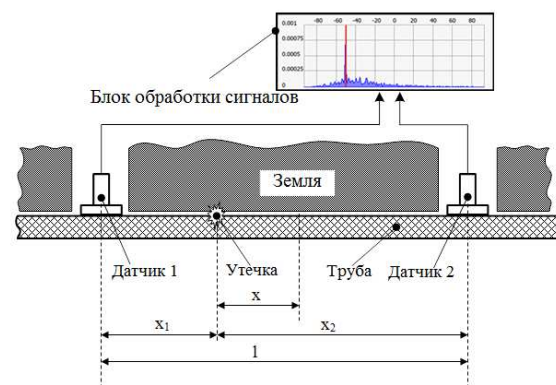


Рис. 1. Схема трубопровода с утечкой и установленными датчиками

Взаимная корреляционная функция 2-х дискретных сигналов x_i и y_i со сдвигом, равным k , вычисляется по формуле:

$$r_{xy}[k] = \frac{1}{N-k} \sum_{j=0}^{N-1-k} x_{j+k} \cdot y_j$$

где N – размер выборки сигналов. На графике функции $r_{xy}[k]$ расположение максимума соответствует значению искомой задержки Δt [2].

На практике при больших размерах выборки, расчет корреляции можно ускорить с помощью БПФ, используя теорему о корреляции [2, 3], которая формулируется таким образом:

$$r_{xy}[k] = \frac{1}{N} F^{-1} [F(x_i) F^*(y_i)],$$

где F – прямое дискретное преобразование Фурье [2] первого сигнала, F^* – комплексно-сопряженное значение результатов прямого дискретного преобразования Фурье второго сигнала, F^{-1} – обратное дискретное преобразование Фурье.

На основе приведенных расчетных формул разрабатывается программное обеспечение для микроконтроллера с архитектурой ARM Cortex M4 – STM32F407VGT6 [4], который является базовым вычислительным устройством создаваемого прибора. Микроконтроллеры Cortex M4 находят широкое применение в устройствах цифровой обработки сигналов. Cortex M4 имеет производительность до 375 DMips/МГц, низкое потребление энергии и, как правило, наличие разнообразных периферийных устройств, выполненных на кристалле, что делает данный тип микроконтроллеров универсальным устройством для реализации цифровой обработки сигналов в недорогих устройствах.

Разработка программного обеспечения осуществляется на отладочном комплексе [4], в состав которого входят:

- микроконтроллер STM32F407VGT6: тактовая частота 168МГц, размер программной памяти 1Мб, размер ОЗУ 192Кб;

- QVGA TFT 2.4" – LCD дисплей с разрешением 240×320 на базе видеопроцессора ST7783;
- Интегрированный модуль последовательного интерфейса передачи данных RS-232;
- Модуль JTAG для программирования контроллера;
- АЦП: 12-bit 16 каналов;
- ЦАП: 12-bit 2 канала.

Для получения исходных данных используются два вибропреобразователя ДН-3-М1 [5].

Словесное описание алгоритма функционирования разрабатываемого прибора выглядит следующим образом:

- аналоговые сигналы с двух датчиков поступают на АЦП микроконтроллера ADC1 и ADC2, которые работают в режиме dual mode. На выходе АЦП получаем два дискретизированных сигнала x_i и y_i .
- вычисление БПФ $F(x_i)$ и $F^*(y_i)$, построение спектра для сигналов x_i и y_i .
- попарное умножение полученных результатов $F(x_i)F^*(y_i)$.
- вычисление обратного БПФ для результатов умножения $F^{-1}[F(x_i)F^*(y_i)]$
- вычисление функции корреляции $r_{xy}[k] = \frac{1}{N} F^{-1}[F(x_i)F^*(y_i)]$
- построение графика взаимной корреляционной функции $r_{xy}[k]$.
- определение времени задержки и расчет координаты утечки по формуле 1 или 2.

Разработанный алгоритм прошел тестирование на размерах выборок 1024, 2048 и 4096. На переисчисленных размерах выборки микропроцессор ARM Cortex M4 позволяет проводить вычисление ВКФ в режиме реального времени с задержкой необходимой для накопления требуемого числа отсчетов дискретизированного сигнала.

Заключение

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ MSC-ДИАГРАММ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ РАСКРАШЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Черненко С.А.

Научный руководитель: Непомнящий В.А.
Институт систем информатики им. Ершова СО РАН
630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т Лаврентьева, 6
E-mail: schernenok@yandex.ru

Введение

Одним из способов формализации и анализа системных требований на этапе проектирования программного обеспечения является использование языка сценарных спецификаций MSC, который является выразительным и простым средством описания взаимодействия си-

Разработанное программное обеспечение позволяет установить факт наличия утечки и определить ее координаты.

Применение микропроцессоров ARM Cortex M4 в разработке корреляционного течеискателя позволяет избежать использования специализированных и имеющих большую стоимость устройств.

Взаимная корреляционная функция не позволяет оценить взаимосвязь сигналов на различных частотных участках спектра. Это является существенным недостатком такого подхода. В дальнейшем планируется провести оптимизацию разработанного алгоритма путем использования частотно-временной корреляционной функции [5-7].

Литература

1. Техническое описание. KIT STM32F4DISCOVERY. URL: <http://www.st.com/web/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF252419> (Дата обращения: 11.10.2013).
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. Martin T. The insider's Guide To the STM32 ARM Based Microcontroller. Hitex (UK) Inc., Coventry, 2009. – P. 106.
5. Аврамчук В.С., Чан Вьет Тъяу. Частотно-временной корреляционный анализ цифровых сигналов // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 5. – С. 112–115.
6. Аврамчук В.С., Гончаров В.И., Чан Вьет Тъяу. Частотно-временной корреляционный анализ в задачах определения координат утечек в трубопроводах // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – № 2. – С. 70–73.
7. 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.

стемных компонент в распределенных системах [1]. Диаграммы MSC и их расширение HMSC (High-level MSC) нашли широкое применение на практике для представления системных требований на всех этапах проектирования систем. Однако существующие техники и средства анализа и проверки корректности (H)MSC-