

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ БИНАРНЫХ АНТИСИММЕТРИЧНЫХ МЕТОК НА ИЗОБРАЖЕНИИ

И.М. Миронов, Д.А. Беспалов

Нижегородский госуниверситет

В задачах идентификации объектов на изображении удобно использовать специфические метки, хорошо поддающиеся анализу. Одним из примеров таких меток является шахматная доска [1]. Существуют различные методы обработки изображений, которые можно применить к решению данной задачи, но они имеют следующие недостатки:

- алгоритмы на нейронных сетях сложны при распознавании антисимметричных объектов;
- при использовании обобщенных алгоритмов поиска особых точек обнаруживается слишком большое число точек, что требует дальнейшего отбора точек доски;
- алгоритм поиска по классификаторам имеет трудности с обучением классификатора и более низкую скорость работы.

Предлагаемый метод распознавания основан на поиске точек пересечения квадратов доски. Для этого был разработан специальный алгоритм, основанный на анализе локальной окрестности пикселей изображения.

Все пиксели изображения анализируются с использованием скользящего окна. Для увеличения свойств симметрии локальной области в качестве скользящего окна выбрана круглая маска [2].

Если анализируемая точка является пересечением ячеек шахматной доски, распределение яркости в окрестности этой точки будет обладать антисимметричными свойствами. На рис. 1 представлены некоторые возможные окрестности угла шахматной доски, находящегося под скользящей маской.

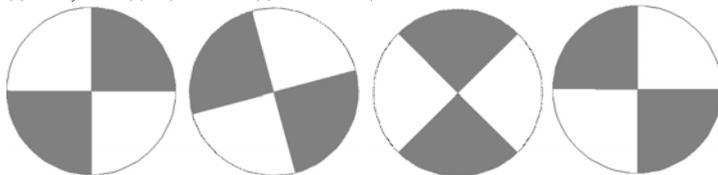


Рис. 1. Окрестность угла шахматной доски.

Рассмотрим окрестности анализируемой точки. Введем систему координат, как показано на рис. 2. В силу свойств симметрии для угла шахматной доски область I совпадает с областью II, повернутой на 90 градусов и инвертированной по яркости. Аналогично должны соответствовать друг другу и остальные пары областей (I и III, III и IV, II и III, II и IV, III и IV).

Чтобы определить, является ли рассматриваемая точка углом шахматной доски, необходимо провести ряд операций.

Вычисляем попарные среднеквадратичные отклонения всех областей S_k :

$$S_k = \frac{\sqrt{\sum_i (x_i - x'_i)^2}}{N},$$

где x_i – значения пикселей первой области, x'_i – значения пикселей второй области, N – количество точек в области.

Затем вычисляем усредненное отклонение $S = \frac{\sum_i S_k}{6}$ и сравниваем

полученное значение с заданным значением усредненного отклонения S_{\min} . Если полученное отклонение меньше этого параметра, то точка считается углом доски. Изменяя параметр S_{\min} , можно регулировать чувствительность алгоритма.

Алгоритм был опробован на задаче поиска автомобиля на территории автодрома. Полученный результат отображен на рис. 3. Белыми кружками отмечены найденные на шахматных досках точки пересечения квадратов. Как видно из изображения, алгоритм определил все необходимые точки и не имел ложных срабатываний.

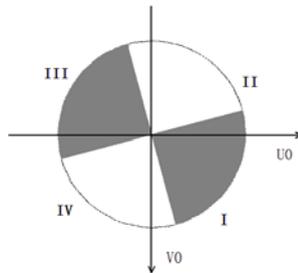


Рис. 2. Анализ геометрической структуры угла шахматной доски.

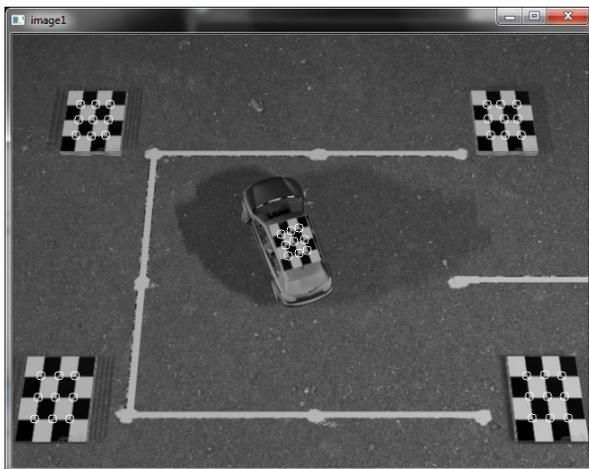


Рис. 3. Результат работы алгоритма поиска антисимметричных бинарных меток на изображении (найденные точки обозначены белыми кружками).

- [1] Zhu W., Ma Ch., Xia L., Li X. // IEEE Image and Signal Proc. 2009. CISP '09. 2nd Intern. Congress. P.1.
[2] Ha J.-E. // Opt. Engineering. 2007. Iss.10. P.2027.

МЕТОД ПОИСКА ЗРАЧКА НА ИЗОБРАЖЕНИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ДВИЖЕНИЮ ГЛАЗ

Д.А. Ильина

ООО «Друг – М»

Одной из наиболее актуальных и активно разрабатываемых задач современной медицины является реабилитация больных, перенесших инсульт. Разрабатываемая нами система диагностики состояния человека по движению глаз для определения его функционального и психоэмоционального состояния [1] применима в этих условиях для тренировки зрения у людей, перенесших инсульт. Ключевой составляющей системы является блок по обработке изображений глаза и построения траектории движения зрачка (eye-tracking), базирующийся на алгоритмах распознавания образов и медицинских исследованиях в области физиологии движения глаз [2].

Алгоритм, рассматриваемый в данной статье, предлагается как метод быстрого определения на изображении глаза точки зрачка, которая может использоваться в качестве его приближённого центра.

Для ускорения работы используется уменьшение объёма данных, с которыми работает алгоритм, а именно: переход от исследования двумерного массива изображения к исследованию одномерных массивов – «проекций» зрачка на координатные оси. Алгоритм можно разделить на следующие этапы:

1. бинаризация изображения с плавающим порогом;
2. проекции на координатные оси;
3. поиск координат центра зрачка.

На этапе бинаризации изображения с 256 градациями серого получаем изображение (рис. 1), у которого каждый пиксель может представлять только один из двух цветов: белый или чёрный. Значения каждого пикселя кодируются как «0» и «1». Значение «0» условно называют задним планом или фоном, а «1» — передним планом.

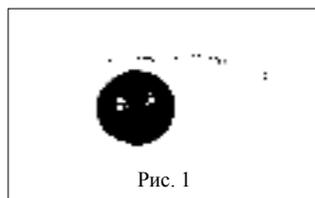


Рис. 1

В данном случае используется простая пороговая функция:

$$I' = \begin{cases} 0, I < T \\ 1, I \geq T \end{cases}, \quad (1)$$

где $I(x,y)$, $I'(x,y)$ – яркости точки исходного и бинаризованного изображений соответственно, T – некий порог, который подбирается с помощью исследования гистограммы изображения. Зрачок – это большая по площади область с практически

равномерной яркостью, которая даст первый достаточно резкий и высокий максимум на гистограмме.

На этапе проекции на координатные оси проводится процедура получения из бинарного изображения распределения количества точек с яркостью 1 в зависимости от координаты. В работе [3] также применяется метод проекций на координатные оси, но не для бинаризованного, а для исходного изображения, что заметно увеличивает время работы алгоритма.

Проекция, одномерный массив, получается из изображения по следующей формуле:

$$P(x) = \sum_y I(x, y). \quad (2)$$

Максимум $P(x)$ располагается на координате, соответствующей центру зрачка.

На следующем этапе работы алгоритма проводится поиск координат центра зрачка. Для поиска координаты y этот метод оказался ненадёжным, поскольку в вертикальной проекции на ось OY максимум яркости приходится как на сам глаз, так и на бровь (или, в некоторых случаях, даже на ресницы). Поэтому координаты центра зрачка было предложено искать через пересечение прямой $x=x_0$ с тёмной областью на бинаризованном изображении. Поскольку максимум проекции на ось OX достигается в середине зрачка, x_0 подбирается с помощью исследования гистограммы изображения, как точка, которая даст первый резкий и высокий максимум на гистограмме (рис. 2).

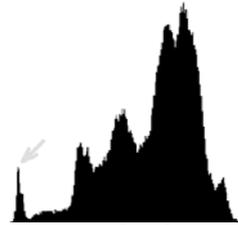


Рис. 2

В дальнейшем предполагается усовершенствование разработанного алгоритма для получения более точного определения положения зрачка с помощью использования метода Хафа [4].

- [1] Ильина Д.А. //Труды XV научн. конф. по радиофизике / Ред. С.М. Грач, А.В. Якимов – Н. Новгород: ННГУ, 2011. С.274.
- [2] Ballard D. H., Brown C.M. Computer Vision. – US, New Jersey: Prentice Hall, 1982, 523 p.
- [3] Zhou Z.-H., Geng X. //Pattern Recognition. 2004. V.37(5). P.1049.
- [4] Duda R.O, Hart P.E. // Comm. ACM. 1972. V.15. P. 11.

АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Б.П. Васильев

Нижегородский госуниверситет

В работе рассматривается метод проведения комплексной диагностики состояния автомобиля по звукам, регистрируемым на разных узлах автомобиля.

Техническое состояние автомобиля можно описать ограниченным набором допустимых показаний датчиков (назовём его мгновенным состоянием автомобиля). Эти наборы показаний удобно представлять в виде точек в многомерном kd -пространстве: близким наборам показаний датчиков соответствуют близкие точки в kd -пространстве [1]. В таком случае комплексное техническое состояние автомобиля можно описать областью расположения точек, соответствующих допустимым мгновенным состояниям автомобиля. Если в какой-то момент мгновенное состояние автомобиля вышло за пределы области допустимости, значит, это новое состояние нуждается в обработке специалистом и, возможно, требуется модификация области допустимости. С целью контроля над подобными состояниями в kd -пространстве можно задать области, при попадании в которые необходимо сразу извещать пользователя о критической неисправности. Для поиска точек в kd -пространстве, близких к точке, соответствующей текущему состоянию, используются kd -деревья – бинарные деревья в многомерных пространствах.

В звуковом сигнале вызывает интерес его спектральный состав: наличие или недостаток каких-то частот могут сразу выявить неисправность исследуемого узла. Преобразование Фурье применимо лишь для стационарных сигналов, а в данном случае стационарным сигнал может считаться лишь на малом временном участке, изменениями частотного состава на котором можно пренебречь. Здесь необходимо применять оконное преобразование Фурье – преобразование Фурье для малых фрагментов сигнала [2]. Для слишком малого окна возникают искажения, связанные с ограниченностью обрабатываемой выборки, теряется разрешение по частоте. Если взять большое окно, сигнал прекращает быть стационарным, и теряется разрешение по времени (когда появились или исчезли частотные составляющие). Компромисс между временным разрешением и разрешением по частоте достигается в вейвлет-преобразовании (англ. «*wavelet*» – «маленькая волна»), где для разных частот используются разные размеры окна [2].

Для решения задачи акустической диагностики состояния отдельных узлов автомобиля недостаточно определения мгновенного спектрального состава его звукового сигнала – необходимо знать некую предысторию, на основании которой можно оценить степень исправности этого узла, что было сделано экспериментально для газораспределительного механизма автомобиля ВАЗ-21213 (см. рис.).

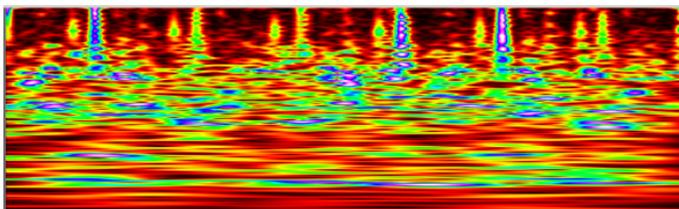


Рис. Результат вейвлет-преобразования звука, записанного с газораспределительного механизма автомобиля ВАЗ-21213.

На рисунке видны моменты времени, соответствующие открытиям и закрытиям клапанов. Сравнивая с образцом, можно определить отклонения в этой последовательности и сделать вывод о состоянии узла автомобиля. Вейвлет-преобразование является наиболее удобным для составления баз данных звуков и анализа вновь возникающих звуков.

Идея использования *kd*-деревьев для сравнения фрагментов сигнала не нова. В работе [3] авторы предложили использовать *kd*-дерево для быстрого поиска фрагментов на изображении, близких к фрагменту изображения в окрестности искомого пикселя в задаче нелокальной фильтрации. В работе [4] можно найти двумерные проекции многомерного *kd*-образа, построенного по всем фрагментам обрабатываемого изображения. Следует отметить важную особенность построенного по фрагментам исходного сигнала *kd*-образа, которая справедлива и в случае вейвлет-преобразований фрагментов звукового сигнала: каждый последующий фрагмент (мгновенное состояние) описывается «почти симметричной» точкой для всех координат, кроме двух, соответствующих первому и последнему значениям в выборке. Значения координат меняют значения индексов координат, которые сдвигаются на 1. Получается, что *kd*-дерево избыточно. Эта избыточность позволяет как производить быстрый поиск по наборам значений (поиск ближайших наборов в базе данных), так и защищает от попадания сдвинутых наборов значений в число ближайших. *Kd*-дерево в числе ближайших выдаёт только те наборы значений, среднеквадратичные отклонения которых от запрашиваемого не превышают заданного порога, и разброс значений у которых равномерно распределён. Как показала практика применения *kd*-деревьев в задаче нелокальной фильтрации изображений, применение *kd*-деревьев позволяет более точно определять близкие наборы значений в условиях стохастического белого шума.

Итак, для акустической диагностики состояния автомобиля предлагается производить вейвлет-преобразование над снимаемым звуковым сигналом и построение *kd*-дерева по результатам преобразования. Несколько вейвлет-образов составляют координаты точки в *kd*-пространстве. В процессе обучения системы и тестовой эксплуатации автомобиля в различных условиях, в *kd*-дереве формируется образ, характеризующий текущее техническое состояние автомобиля и выделяются области, в которых находился автомобиль в процессе обучения. В процессе дальнейшей эксплуатации автомобиля после обучения происходит поиск по *kd*-дереву точек, удалённых не далее заранее подобранного порогового радиуса. Отсутствие точек в заданном радиусе означает, что подобной конфигурации звуков в процессе обучения зафиксировано не было, о состоянии автомобиля необходимо отправить отчёт серверу, после чего оператор определит, добавить полученную точку в число того же состояния или это симптом смены состояния автомобиля, что соответствует другой карте состояния (*kd*-образа) и об этом необходимо известить пользователя.

[1] Moore A.W. // Tech. Report. Pittsburgh, Cambridge: Carnegie Mellon University, 1991. No.209.

- [2] Liu C.-L. A Tutorial of the Wavelet Transform:
<http://disp.ee.ntu.edu.tw/tutorial/WaveletTutorial.pdf>
- [3] Kleinschmidt O., Brox T., Cremers D. //IEEE Trans. on Image Proc. 2008. V.17, No.7. P.1083.
- [4] Васильев Б.П., Хмелёв С.Л. // Труды XV Научной конференции по радиофизике, посвященной 110-й годовщине со дня рождения А.А. Андропова/ Ред. А.В. Якимов. 2011. С.275.

МОДЕЛЬ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО КОПИРОВАНИЯ, ОСНОВАННАЯ НА МЕТОДЕ НАБОРНЫХ КЛЮЧЕЙ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОМ КОДИРОВАНИИ

С.В. Иванов

Нижегородский госуниверситет

В данной статье приведены идеи, на основании которых планируется разработать семантическую, а также математическую модель технического средства защиты авторских прав на мультимедиа контент.

Существующие средства защиты авторских прав обладают рядом проблем, не позволяющих использовать их эффективно для защиты мультимедиа контента. Рассмотрим их основные недостатки на примере одной из самых распространенных современных систем защиты авторский прав AACС (Advanced Access Content System; рус. улучшенная система доступа к содержимому), используемой для защиты DVD и Blue-ray дисков, принятой 5 июня 2009 года [1]. В ней применяется AES-шифрование и схема широко-вещательного шифрования на основе дерева разностей подстановок для сокрытия ключа на оптическом диске. Хотя само по себе шифрование и является криптостойким, в процессе воспроизведения возможно извлечение ключа для дешифрования из оперативной памяти устройства, и меры, принятые на шифрование и сокрытие ключа на самом диске, становятся бесполезными. Поэтому при разработке технического средства защиты авторских прав помимо защиты самого мультимедиа контента необходимо предпринимать меры по противодействию атакам на прикладное программное обеспечение и перехвату информации из оперативной памяти.

Отсюда следует, что в основе разрабатываемых систем необходимо использование методов помехоустойчивого кодирования – кодов Рида-Соломона [2], с помощью которых можно не только обнаруживать, но и частично восстанавливать информацию. Большинство специалистов ассоциируют их только с помехоустойчивым кодированием в каналах передачи данных, что является не совсем корректным. В действительности, коды Рида-Соломона можно применять везде, где необходимо предотвратить как неумышленную, так и умышленную модификацию данных, что является их основным преимуществом [3].

В предлагаемой модели защиты данных от несанкционированного копирования на основе использования этих кодов планируется реализовать следующую функциональность:

- обнаружение и коррекция умышленной модификации информации об авторе или исполняемого кода с целью «взлома» программного обеспечения;
- обнаружение и коррекция неумышленных ошибок при передаче данных по каналам связи, ошибок в данных на носителях информации при их сбое или отказе, что позволяет организовать дополнительную защиту целостности мультимедийного контента;
- реализация защиты программного обеспечения или данных от копирования с оптического диска, а также с жесткого диска при использовании специальных «настоящих» и «ложных» ошибок в секторах;
- реализация программного обеспечения для генерации ключей на основе информации об аппаратных компонентах.

Для кодирования и декодирования информации также предлагается использование наборного ключа, состоящего из трех частей. Первая часть ключа генерируется владельцем авторских прав под конкретный мультимедиа файл. Вторая часть генерируется программным обеспечением на основании информации об аппаратных компонентах системы пользователя. Третья часть генерируется непосредственно пользователем технического средства защиты авторских прав. Данный подход позволяет различать пользователей и их устройства и усложнит коалиционную атаку на ключи.

Таким образом, рассмотренные методы являются перспективными для использования в технических средствах защиты авторских прав на мультимедиа контент.

[3] AACС спецификация: <http://www.aacsla.com/specifications/>

[4] Касперски К. Как защищают программное обеспечение:
<http://www.insidepro.com/kk/035r.shtml>.

[5] Касперски К. Могущество кодов Рида-Соломона или информация, воскресшая из пепла: <http://www.insidepro.com/kk/027/027r.shtml>.

ПЛАТФОРМА ДЛЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЕЙ СБОРА ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ

Б.В. Терещенков

Нижегородский госуниверситет

В работе рассматривается один из подходов к решению задачи создания средств маршрутизации в гетерогенных сетях.

Сеть сбора данных и управления – это множество узлов, оснащенных датчиками, исполнительными устройствами и сетевыми интерфейсами. В такой сети могут быть не только сенсорные узлы, но и узлы управления и обработки данных. Она

может иметь несколько физических сегментов с различными средами передачи данных, как проводными, так и беспроводными.

При построении многих современных беспроводных сенсорных сетей используется ячеистая топология (Mesh). Протоколы маршрутизации в сетях с ячеистой топологией имеют сложную реализацию и требуют поддержания таблиц маршрутизации больших размеров.

Гетерогенная сеть подразумевает использование различных сред передачи данных, которые можно разделить на проводные и беспроводные. При этом все проводные среды с точки зрения маршрутизации работают аналогично, а именно путем деления сети на сегменты, после чего можно использовать протоколы маршрутизации компьютерных сетей, например OSPF [1]. Отказоустойчивость в этом случае может достигаться путем введения дополнительных линий. С беспроводными сетями все несколько сложнее. Существует, как минимум, три подхода к построению беспроводных сетей:

- «точка-точка» – все узлы внутри сегмента равноправны;
- «инфраструктура» – сеть с точкой доступа, данные пересылаются через один узел;
- сеть с ячеистой топологией.

Для обеспечения общей адресации и прозрачности работы при маршрутизации в гетерогенных сетях беспроводные подсети необходимо рассматривать как сегменты. С использованием подходов «точка-точка» и «инфраструктура» особых проблем не возникает. В первом случае маршрутизация между узлами сегмента не нужна, она производится только на узлах-шлюзах в другие сегменты. Этот подход позволяет реализовать сегмент с большой отказоустойчивостью, но физический размер сети ограничен радиусом стабильной передачи данных между двумя наиболее удаленными узлами. Во втором случае маршрутизация между узлами осуществляется точкой доступа, причем точка имеет список своих узлов, что позволяет изолировать механизм маршрутизации внутри сегмента от механизма межсегментной маршрутизации. Использование точки доступа несколько упрощает построение и диагностику сегмента, но устанавливает ограничения на отказоустойчивость. Физический размер сети при использовании этого подхода тоже ограничен радиусом стабильной передачи данных между точкой доступа и узлом сегмента. Третий подход позволяет решить общую для первых двух проблему, а именно, ограничение физического размера сети. Это достигается за счет многоступенчатой маршрутизации от узла к узлу до достижения узла назначения. Вместе с этим появляется проблема маршрутизации внутри сегмента. Существует несколько протоколов маршрутизации для сетей с такой топологией, решающих проблему внутрисегментной маршрутизации. Таблицы маршрутизации в Mesh могут строиться динамически, а записи в них существуют непродолжительное время, что разумно, поскольку полный размер таблицы маршрутизации для сегмента из n узлов без учета резервных маршрутов будет равен количеству ребер полного графа, а именно $n(n-1)/2$ записей, что довольно много, а за счет перемещения узлов записи могут устаревать.

В гетерогенной сети существуют следующие варианты применения сегментов с ячеистой топологией:

- создание отказоустойчивого расширяемого сегмента;
- объединение множества сегментов с другими топологиями в одну сеть;
- улучшение характеристик Mesh-сети за счет введения стационарных проводных узлов;
- объединение нескольких сегментов с ячеистой топологией в общую сеть.

Во всех случаях, кроме первого, необходимо реализовать транзитную передачу данных через Mesh-сегмент. Для маршрутизации в пакетах обычно предусмотрено поле для записи адреса следующего узла. Если использовать классический подход, то при переходе в Mesh-сегмент поле адреса следующего узла будет использовано для хранения адреса следующего узла Mesh-сегмента. Это не является проблемой для первого варианта применения, но при транзитной передаче такое решение не позволит задать узел выхода из сегмента, что в свою очередь влечет за собой необходимость поддержания общих полных таблиц маршрутизации на всех маршрутизирующих узлах сети и расщепление Mesh-сегмента на множество логических сегментов, что приведет не только к уменьшению производительности и дополнительным расходам на аппаратную часть узлов, но и к усложнению структуры сети. Таким образом, очевидна потребность в способе изоляции механизмов внутрисегментной маршрутизации от механизмов межсегментной маршрутизации.

Предлагается решить данную проблему путем введения дополнительно поля пакета для хранения адресов следующего узла. Это поле предназначается для хранения адреса следующего узла Mesh-сегмента или адреса следующего узла при межсегментной маршрутизации. Поле может отсутствовать, например, при маршрутизации пакета внутри сегмента конечного получателя. Таким образом, пакет будет содержать три адреса узлов назначения:

- адрес следующего узла;
- адрес следующего узла Mesh или адрес следующего маршрутизатора;
- адрес конечного получателя.

При маршрутизации внутри сегмента второе поле содержит адрес следующего маршрутизатора, причем этот адрес является конечной точкой. Этим решается задача выделения внутрисегментной маршрутизации.

При маршрутизации между сегментами второе поле содержит адрес следующего узла Mesh, это позволяет отправлять пакеты через другие сегменты с возвратом в первоначальный сегмент. Это решает задачу транзитной передачи между частями разорванного сегмента сети через другие сегменты.

[1] Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е издание./Пер. с англ. –СПб.: Питер, 2007. С.406.

ПЛАТФОРМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С АКУСТОЭЛЕКТРОННЫМИ ДАТЧИКАМИ

Н.С. Александров, М.А. Соколов, Н.В. Чистяков

Нижегородский госуниверситет

Интерес к датчикам, регистрирующим значения изменяющихся физических величин, неуклонно растет, о чем свидетельствует увеличивающееся количество публикаций в данной области. Отчасти это объясняется успехами в развитии новых технологий и микроэлектроники в целом. В последнее время начали активно разрабатываться измерительные приборы, в основе которых используются чувствительные элементы на базе резонаторов на поверхностных и объемных акустических волнах. Использование подобных датчиков позволяет добиться рекордных показателей чувствительности к оседающим на них микрочастицам. На данном этапе развития микроэлектроники стало возможным производство сенсора и системы обработки его сигнала на одном полупроводниковом кристалле, что позволяет создать миниатюрную встраиваемую измерительную систему.

В рамках совместного проекта Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, компании Интел и Калифорнийского университета (г. Беркли, США) была спроектирована измерительная плата для регистрации частоты чувствительного элемента, разрабатываемого группой в университете г. Беркли (он способен улавливать концентрацию сажи в воздухе порядка $18 \cdot 10^{-6}$ г/м³ [1]). Радиоэлектронная часть измерительной системы выполняет аналоговую и цифровую обработку сигнала для датчиков, работающих по принципу преобразования измеряемой физической величины в частоту, и может работать с различными типами акустоэлектронных датчиков на поверхностных и объёмных акустических волнах.

Примененная схема построения измерительной системы представляет собой практически классический супергетеродинный приемник, т.е. использован преобразователь с понижением частоты с последующей оцифровкой сигнала промежуточной частоты (см. рис.).

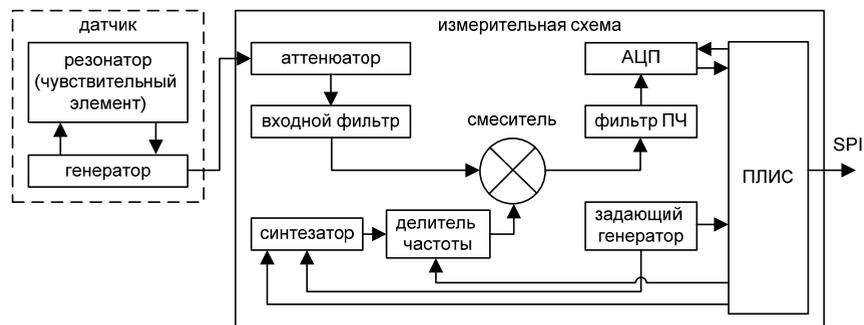


Рис. Структурная схема измерительной системы.

Проведенный анализ множества возможных способов построения аналоговой части измерительной системы для сенсора показал, что гетеродинная архитектура обладает высокой точностью измерений, малыми габаритами и энергопотреблением, относительно невысокой ценой, возможностью применения мощных методов цифровой обработки сигнала, устойчивостью в работе и помехозащищенностью.

Сигнал от чувствительного элемента подается на вход измерительной системы и далее на полосно-пропускающий входной фильтр, предназначенный для подавления помех находящихся за пределами частотного диапазона сигналов, поступающих от чувствительного элемента. Перед входным фильтром установлен 3 дБ аттенуатор, необходимый для работы фильтра в случае, если выходной импеданс чувствительного элемента значительно отличается от 50 Ом.

Гетеродинный блок служит для формирования сигнала местного гетеродина и состоит из задающего кварцевого генератора (с частотой колебаний 10 МГц), синтезатора частот, а также делителя частоты синтезатора. Синтезатор частот способен генерировать сетку частот в диапазоне 1050÷1250 МГц и имеет функцию деления частоты на 2 (525÷625 МГц). Делитель частоты имеет программируемые коэффициенты деления на 2, 4 и 8. Таким образом, гетеродинный блок способен генерировать частоты 575 ± 50 МГц, 288 ± 25 МГц, 144 ± 12 МГц, обеспечивая многодиапазонность всей системы. Управление синтезатором и делителем осуществляется с помощью ПЛИС.

Активный фильтр ПЧ служит для усиления сигнала и подавления комбинационных составляющих – интермодуляционных продуктов сигнала чувствительного элемента и сигнала гетеродина, возникающих на выходе преобразователя частоты. Усиленный и отфильтрованный сигнал с активного фильтра поступает на АЦП, где оцифровывается для последующей цифровой обработки на ПЛИС и вычисления девиации частоты, вызванной изменением наблюдаемой физической величины. Таким образом, частота СВЧ-сенсора определяется измерением низкочастотной ПЧ.

Проверка разработанного прототипа осуществлялась подачей на вход системы синусоидального сигнала от прецизионного лабораторного генератора фирмы Agilent. Результаты тестирования созданной измерительной системы показали, что ее частотное разрешение не хуже 5 Гц, при этом входная мощность изменялась в пределах $-28 \div -12$ дБм. Напряжение питания прототипа составляло 3,3 В, что позволяло питать его от литиевых АКБ. Полученные результаты основаны на применении известного метода «zerocrossing», т.е. определении числа изменений знака оцифрованного сигнала (пересечения нуля) в единицу времени и, таким образом, определении периода/частоты измеряемого сигнала. Отметим, что тестирование измерительной системы носит предварительный характер, а метод «zerocrossing» выбран благодаря его простоте. Доводка параметров системы и сопоставление эффективности/точности различных методов математической обработки оцифрованного сигнала будет проводиться на последующих этапах работы над проектом.

[1] Black J.P., Elium A., White R.M., Apte M.G., Gundel L.A., Cambie R. // Ultrasonics, IEEE Symposium – IUS. 2007. P.476.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОЧАСТОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В.И. Нефедов¹⁾, И.Е. Тарасов²⁾

¹⁾Московский институт радиотехники, электроники и автоматики

²⁾Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева

При исследовании радиочастотных систем возникает задача определения их параметров на основе экспериментально полученных характеристик, таких как АЧХ и ФЧХ. Измерение АФЧХ в отдельных точках может быть автоматизировано, в результате чего оказывается возможным получение достаточного объема экспериментальных данных. Несмотря на то, что автоматизированные измерительные средства облегчают получение выборок большого объема, обеспечивающих избыточность, необходимую для сходимости статистических оценок, возникает ряд требующих решения вопросов. Во-первых, наличие асимметричных импульсных помех способно существенно исказить результаты статистической обработки, что приведет к необходимости применения комплекса мероприятий по устранению их влияния. Во-вторых, увеличение объема экспериментальной выборки, несмотря на автоматизацию процесса ее получения, приводит к увеличению времени измерения и обработки. В ряде случаев уменьшение объема выборки, требуемой для получения удовлетворительной точности, может ощутимо улучшить характеристики системы. Поэтому актуальным является поиск методов повышения эффективности измерительных устройств для контроля параметров систем радиосвязи.

Для определения параметров аналитической зависимости, приближающей экспериментальные данные, можно воспользоваться критерием качества приближения, рассмотренным в [1]. Критерий предусматривает минимизацию суммы расстояний от экспериментальных точек до предполагаемой приближающей зависимости в пространстве, функция расстояния которого строится на базе функции плотности распределения вероятности отклонения для используемого измерительного оборудования. Данный подход включает в себя метод наименьших квадратов (МНК) как частный случай при подстановке функции расстояния, равной квадрату разности координат точек.

$$P(\beta) = \sum_{i=1}^N p(f(x_i, \beta) - y_i, \sigma),$$

где β – вектор параметров предполагаемой приближающей зависимости; σ – масштаб функции расстояния.

Для определения параметров приближающей зависимости требуется минимизация функции нескольких переменных, представляющей собой функционал качества. Эта задача зачастую является сложной для технической реализации, поскольку алгоритмы ее решения либо требуют проведения большого объема вычислений (например, алгоритм полного перебора возможных комбинаций значений), либо не гарантируют получение оптимального решения (например, алгоритм градиентного

спуска может давать в результате локальные, а не глобальные экстремумы). Поэтому для повышения качества системы необходимо использовать вычислительную платформу с соответствующей производительностью.

Специализированная вычислительная система для определения параметров приближающей зависимости была разработана на базе ПЛИС. При проектировании учитывались свойства неограниченной реконфигурируемости ПЛИС с архитектурой FPGA и возможность реализации независимых параллельных вычислительных узлов. Это позволило спроектировать параллельно работающие узлы для вычисления критерия качества приближения. Каждый узел строится на основе конкретного уравнения приближающей зависимости, что позволяет существенно уменьшить его логический объем и выполнить, таким образом, специализацию устройства обработки экспериментальных характеристик.

- [1] Тарасов И.Е. //Системы управления и информационные технологии. 2011. В.1(43). С. 95.