Департамент образования города Москвы

Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение города Москвы

«Гимназия №1505 «Московская городская педагогическая гимназия-лаборатория»»

**РЕФЕРАТ**

**на тему**

**Использование вейвлет-анализа при работе с аналоговыми датчиками**

Выполнил:

Бахметьев Станислав Сергеевич

Руководитель:

Маргаритов Виталий Сергеевич

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Рецензент:

Тер-Ованесян Геворк Левонович

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Москва

2016/17 уч. г.

**Оглавление**

Введение.............................................................................................................3

1. Работа с аналоговыми датчиками………………………………………5

1.1 Выходной сигнал датчиков………………………………….……5

1.2 Преобразование сигнала. АЦП…………………………….…….5

1.3 Конденсаторы…………………………………………………..….5

1.4 Резисторы…………………………………………………..………6

1.5 Микроконтроллеры……………………………………….………6

1.6 Итоги…………………………………………………………..……7

2. Виды вейвлет-преобразований……………………………………….….8

2.1 Многомасштабный анализ данных………………………......…..8

2.2 Сжатие данных. Преобразование Хаара………………….……..9

3. Основные принципы вейвлет-анализа………………..…………………11

3.1 Преобразование Фурье и вейвлет-анализ………………….…...11

3.2 Свойства вейвлетов……………………………………………….12

3.3 Дискретное вейвлет-преобразование…………………………...12

Заключение........................................................................................................16

Список литературы...........................................................................................17

Приложения…………………………………………………………………18

***Введение***

В современном мире появляется все больше электронных устройств, которые каким-либо образом воспринимают информацию из окружающей среды с последующей ее обработкой. Довольно часто в качестве "приемника" информации используются аналоговые датчики, передающие состояние измеряемого ими аспекта в виде числового значения в определенном диапазоне. Вейвлет-анализ - набор формул и функций, способный обеспечить обработку полученного сигнала за какой-либо промежуток времени, сделать необходимые выводы для выполнения поставленной задачи и сформировать адекватную реакцию на поступившую информацию. В своем исследовании я расскажу об использовании датчиков с применением вейвлет-анализа, а также для чего еще может быть использована эта технология, какие существуют перспективы ее развития и дальнейшего использования в технологических устройствах.

***Датчики***

Датчик - компонент электрической цепи, способный передавать обрабатывающей системе сигнал, сформированный под воздействием внешних факторов. Датчики бывают двух видов: аналоговые и бинарные(цифровые). Данная работа посвящена аналоговым, но для полноты картины я все же скажу несколько слов и о бинарных.

Главная особенность бинарных датчиков - это их способность возвращать только два значения (они, как правило, записываются в логическую переменную типа Boolean). Самый распространенный цифровой датчик - обычная кнопка. При нажатии датчик возвращает 1 (или TRUE), при отпускании 0 (или FALSE).

Аналоговые датчики возвращают значение в определённом диапазоне, пропорциональном значению измеряемой величины. Диапазон в процессе работы можно менять, тогда увеличивается точность измерения, но вместе с этим растет и объем памяти, занимаемой переменной, отвечающей за значение датчика. В зависимости от ситуации инженеры выбирают наиболее подходящий вариант. Например, значение в диапазоне от 0 до 255 можно описать переменной типа byte (занимает 1 байт памяти). Это довольно широкий диапазон для измерения величин, точность которых не принципиальна (например, температуры воздуха на улице), но когда требуется провести расчеты с максимальной точностью, может понадобиться более широкий диапазон. Аналоговые датчики очень разнообразны: в их число входят датчики температуры, освещенности, давления, потенциометры и многие другие. Все они имеют разную мощность и приспособлены к измерению величин в разных диапазонах, адаптированы к включению в цепь с разной силой тока и напряжением.

***Резисторы***

Резистор - компонент, меняющий сопротивление в цепи. Он может понадобиться для калибровки датчиков. Основной проблемой может послужить некорректная чувствительность датчиков. Если она слишком велика, то возвращаемое значение будет меняться даже от незначительного изменения окружающей среды. Пример. Мы хотим измерить температуру воздуха, но наш датчик неверно откалиброван. Диапазон установлен от 0 до 100. На улице 32 градуса Цельсия. Возвращаемое значение колеблется у нижней границы диапазона. Как только температура поднялась на 10 градусов, возвращаемое значение резко взлетело до максимума. Такая чувствительность более подошла бы для измерения температуры тела человека, т. к. в данном измерении диапазон довольно маленький (от 32 до 42 градусов), а точность измерения 0,1 градус. Но в нашем случае нужен больший диапазон и меньшая точность. Исправить ситуацию можно, подключив к датчику подходящий резистор.

***1. Работа с аналоговыми датчиками.***

Как уже было сказано ранее, аналоговый датчик – компонент цепи, способный измерять физические величины посредством изменения собственного сопротивления под действием внешних факторов. Аналоговый датчик связан с *контроллером* – электронным устройством, которому в реальном времени передаются данные, являющиеся результатами работы датчика. Функции контроллера сводятся к форматированию, обработке и анализе получаемых данных для обеспечения работы устройства.

***1.1 Выходной сигнал датчиков***

Выходной сигнал датчиков имеет три основных стандартных диапазона:

* 0-5 мА;
* 0-20 мА;
* 4-20 мА.

Наиболее оптимальными на данный момент являются датчики с диапазоном 4-20 мА. Основным недостатком диапазонов с нулевым значением нижнего порога, соответствующего нулевому сигналу является тот факт, что в некоторых обстоятельствах проблематично отличить нулевой сигнал от потери работоспособности датчика засчет повреждения электрической цепи. Чтобы избавиться от данной проблемы диапазон был сдвинут. Еще один недостаток диапазона 0-5 мА – слабый сигнал, подверженный помехам. Из-за них, показания прибора могут сильно колебаться, искажая действительность. Чтобы убрать помехи, необходимо к датчику подключить конденсатор. (http://electrik.info/main/school/847-analogovye-datchiki.html).

***1.2 Преобразование сигнала. АЦП***

Для того, чтобы контроллер мог воспринять входной сигнал, его необходимо преобразовать в цифровой вид. Данная процедура выполняется при помощи *АЦП (аналого-цифровых преобразователей)*. Одной из основных характеристик АЦП является его *разрядность*. Разрядность характеризует количество битов информации, с помощью которых происходит ее кодирование. Например, если АЦП имеет 8-битную разрядность, то результат представлен восемью битами и имеет диапазон от 1 до 255 (28=256).

***1.3 Конденсаторы***

Конденсатор – компонент цепи, способный накапливать электрическую энергию. По конструкции конденсаторы делят на несколько основных видов:

* Керамические;
* Пленочные;
* Электролитические;
* Полимерные.

Конденсаторы различных видов различны по своим характеристикам, таким как прочность, компактность, емкость, температурные свойства, номинальное напряжение работы.

Из всех характеристик одними из наиболее значимых являются *емкость* и *напряжение*.

Емкость – количество энергии, которое может накопить конденсатор (измеряется в фарадах).

Номинальное напряжение – это максимальное напряжение, при котором может работать конденсатор. В случае его превышения, конденсатор выходит из строя.

Электролитические конденсаторы отличаются высокой емкостью при довольно компактном размере, пленочные, напротив, имеют небольшую емкость, но, при этом довольно прочны и имеют высокое номинальное напряжение.

Как было сказано выше, конденсаторы играют немаловажную роль в работе с датчиками. Они используются для ослабления помех и стабилизации сигнала.

***1.4 Резисторы***

Резисторы – компоненты цепи, ограничивающие действие электрического тока. С помощью резисторов можно уменьшить или разделить напряжение. При работе с аналоговыми датчиками резисторы могут быть использованы для коррекции чувствительности и диапазона значений датчика.

***1.5 Микроконтроллеры***

Микроконтроллер – микросхема, осуществляющая управление устройством, а также сбор и обработку данных и формирование результата работы с последующей передачей пользователю. В состав микроконтроллера входят такие элементы, как процессор, ОЗУ, память. Микроконтроллеры имеют возможность подключения питания, и, фактически, являются самодостаточными устройствами.

***1.6 Итоги***

В данной главе мы рассмотрели основные устройства и компоненты, необходимые для подключения и корректного функционирования аналоговых датчиков. Следующая глава будет посвящена обработке сигналов и основным принципам вейвлет-анализа.

***2. Виды вейвлет-преобразований***

Впервые теория вейвлетов начала зарождаться в 1910 г. К настоящему времени она оформилась в целое научное направление с широким спектром применения.

*Вейвлет* – математическая функция, позволяющая анализировать определенный набор данных. Набором данных может послужить любая последовательность значений, представленная в цифровом виде. Это может быть сигнал датчика, звук, видеоинформация, радиосигнал и т. п.

***2.1 Многомасштабный анализ данных.***

На практике часто используется многомасштабный анализ данных. при таком подходе информация рассматривается в разном приближении для выявления закономерности на разных уровнях. Допустим, у нас есть показания термометра за целый год. Построим график и рассмотрим его. В первом приближении мы увидим, что летом температура была наиболее высокая, к зиме плавно опустилась, а к следующему лету вновь поднялась.

Теперь немного увеличим масштаб. На протяжении всего года заметны более мелкие колебания, связанные с изменением погоды (зимой это чередование заморозков и оттепели, летом – дождливой и засушливой погоды, некоторые особенности изменения погоды, такие как бабье лето осенью).

И наконец в последнем приближении мы увидим колебания температуры, связанные с суточными изменениями (ночью обычно холоднее).

После этого мы можем сравнить полученный график с графиками других лет, выявить закономерности или тенденцию изменения климата, сопоставить с графиками осадков, давления и прочих факторов, между которыми может иметься функциональная зависимость.

Проанализировав таким образом данные, мы можем составить довольно полную картину климата данной местности. Данные действия помогут нам более точно прогнозировать погоду в будущем. Особенным преимуществом вейвлет анализа над преобразованием Фурье является возможность проводить исследование сразу во всех масштабах.

Применение многомасштабного анализа очень широко. Его часто используют для выявления зависимостей и закономерностей при измерении каких либо данных в экспериментальных или исследовательских целях.

Электронные устройства могут совместно использовать датчики и программу, осуществляющую анализ данных для обеспечения самостоятельной реакции на сигнал. Например, климат контроль может прогнозировать изменения температуры и влажности и заранее реагировать на эти изменения. Конечно, можно использовать и более простую схему, по которой устройство начнет реагировать сразу после изменений, но если изменения можно было предвидеть заранее, ничего не помешает к ним подготовиться, тем более, что в ряде случаев это существенно может улучшить качество и эффективность работы.

***2.2 Сжатие данных. Преобразование Хаара.***

Ещё одной важной и полезной функцией вейвлет-анализа (а особенно сейчас, когда зачастую приходится работать с большими массивами данных) является сжатие данных. Оно сводится к разложению сигнала на высоко и низко частотный. Часто при получении сигнала можно получить области, где данные колеблются очень слабо, и связано это может быть либо с погрешностью прибора, либо с факторами внешней среды, влияние которых на измерение ничтожно мало, а зависимость нелинейна. В таких случаях участки с такими слабыми колебаниями можно приравнять к одному значению, а если они малы, то и вовсе обнулить. Такая процедура позволяет убрать шум и помехи в сигнале, а также сжать его, уменьшить объем памяти, занимаемый информацией на носителе. Информацию удобно хранить в разложенном (сжатом виде), но при необходимости можно восстановить исходный сигнал, воспользовавшись функциями обратного преобразования. Однако сглаживание шумов и помех, а также обобщение участков сигнала с небольшой амплитудой колебания в участки с постоянным значением, хотя и позволяют уменьшить объем данных на несколько порядков, но восстановлению не подлежат.

Данные преобразования наиболее распространено в обработке, сжатии и редактировании изображений, звуковой или видеоинформации. С помощью вейвлет преобразования можно создавать звуковые и графические эффекты, менять скорость и тембр звука, сжимать, растягивать и масштабировать изображения, применять к ним цветовые эффекты, повышать или понижать четкость и качество изображение и многое другое. Степень сжатия всегда зависит от значимости низкочастотной составляющей, той самой, которая сглаживается или отбрасывается при сжатии. При слишком сильном сжатии теряется довольно большое количество детализирующей информации. В случае сжатия медиаданных данная операция может значительно снизить качество. Вейвлетное преобразование широко используется для очистки сигналов от шумов и случайных колебаний, которые не принципиальны для результата измерений и дальнейшего анализа данных. В частности, вейвлет преобразования лежат в основе таких технологий, как JPEG 2000 и MPEG-4. (http://www.pvsm.ru/obrabotka-izobrazhenij/26809)

***3. Основные принципы вейвлет-анализа.***

Несмотря на то, что первый шаг в теории вейвлетов был сделан еще в начале двадцатого века, серьезное развитие вейвлет-анализа началось только в 80-90 годах. Первый и наиболее простой вейвлет был создан венгерским ученым А. Хааром в 1909 году. Также значительный вклад в теорию вейвлетов внесли такие ученые, как Добеши, Мейер, Гаусс, Морле, Койфман и др.

В настоящее время вейвлет анализ является одним из самых важных математических инструментов, позволяющим решать многие технологические задачи быстрее и удобнее, чем это можно было сделать раньше.

***3.1 Преобразование Фурье и вейвлет-анализ***

Преобразование Фурье было предложено французским ученым Франсуа Фурье и впоследствии стало неким «прообразом» вейвлет анализа, идеи Фурье- и вейвлет- преобразования схожи, но вейвлет-преобразования имеет более широкий спектр возможностей и в современной науке и промышленности используются намного чаще.

Базисные функции, предложенные Фурье, локализованы только в частотной области, во временной они принимают значения от минус до плюс бесконечности. Вейвлеты локализованы как в частотной, так и во временной областях. С помощью преобразования Фурье не представляется возможным получить информацию о динамическом изменении частоты сигналов во времени.

Вейвлет-преобразование хорошо применимо к анализу нестационарных сигналов, то есть не имеющих определенной частотной амплитуды, закономерности. Такие сигналы непредсказуемы. Если рассматривать их на разных временных участках, частотные характеристики резко отличаются. К таким сигналам относится человеческая речь, спонтанные климатические изменения и т. п. Еще одним полезным свойством вейвлет-анализа является возможность работы с многомерными сигналами. Многомерный сигнал отличается от одномерного количеством независимых переменных.

***3.2 Свойства вейвлетов***

Как уже говорилось ранее – вейвлет – математическая функция. В ней выражается зависимость частотных или аналоговых характеристик сигнала, иными словами значения исследуемой величины (ось y) от времени (ось x). Чтобы при помощи вейвлета можно было проводить исследования, он должен обладать определенными свойствами:

* Среднее значение должно быть равно нулю;
* Функция быстро убывает при t→∞.

С вейвлетами доступны такие операции, как растяжение и смещениепо оси x.

(Л. Левкович-Маслюк: Дайджест вейвлет-анализа в двух формулах и 22 рисунках).

***3.3 Дискретное вейвлет-преобразование***

Традиционно вейвлет-преобразовния производятся с применением интегральных формул, но существует упрощенный дискретный вариант данной операции.

В своей научной работе я проанализировал три ряда данных, используя вейвлет Хаара (формулу и график см. в приложении) в качестве анализирующей функции. Вейвлет функция в процессе анализа ряда данных «ищет сама себя» в этом ряду. Вейвлет Хаара является одним из самых простейших вейвлетов и имеет форму «ступеньки». Когда график исходных данных приобретает ступенчатость, это отображается в результирующем графике. В процессе анализа вычисляется небольшой относительно длины анализируемого ряда чисел ряд значений вейвлет-функции. Допустим, его длина равна k, а ряд данных состоит из n элементов. Первые k элементов ряда анализируемых данных перемножаются соответственно на значения вейвлет-функции, после чего находится сумма получившихся произведений и делится на k. Далее операция повторяется, но со смещениемна один элемент (соответственно на значения вейвлет-функции перемножаются элементы с номерами от 2 до k+1). Таким образом вейвлет «движется по ряду данных», выявляя его особенности.

Первый ряд данных, которые я анализировал в своем исследовании, задан формулой:

Как мы можем видеть из формулы, график разделен на два промежутка, на обоих из них значения являются случайными числами, но на втором их диапазон немного сдвинут немного вверх, поэтому мы можем видеть ту самую ступеньку, которую выявляет вейвлет Хаара. Ниже представлен график этого ряда данных:

Теперь проанализируем этот ряд данных с помощью вейвлета Хаара. На графике представлен полученный результат:

График получился более гладкий, а в том месте, где произошел переход ко второму промежутку и повышению среднего значения ряда чисел, на результирующем графике также произошло увеличение значений. Рассмотрим самую последнюю часть ряда исходных данных. Хотя значения точек в этой части ряда лежат выше, чем в начале, в результирующем графике отчетливо виден спад. Как мы видим, значения функции вернулись в прежние пределы. Это произошло вследствие того, что «ступенька» в ряду исходных данных уже «пройдена» вейвлетом и сигнал снова приобрел относительную стабильность (его значения находились в том же диапазоне, что и в начале, но со сдвигом вверх).

Рассмотрим еще несколько примеров. Второй ряд данных задан формулой:

В первой его части берутся случайные числа от 0 до 1, затем диапазон меняется на 5-6. На графике ряда хорошо заметен скачок вверх, но более резкий, чем в первом примере. График представлен ниже:

Шумы, то есть случайные отклонения от среднего значения здесь довольно невелики. Применяем вейвлет преобразование и изучаем результаты:

Из-за незначительных шумов график результирующей функции практически не меняется на промежутках, где не происходит увеличение среднего значения. Зато при переходе к повышенному промежутку хорошо заметно резкое повышение в результирующем графике. Оно в несколько раз выше, чем в первом примере, к тому же имеет более четкую структуру и функция довольно резко меняется в периоды роста и спада.

Переходим к третьему примеру. Данные заданы формулой:

На нем очень велики шумы, поэтому средней тенденции изменения заметить глазом практически нельзя. Посмотрим, сможет ли выявить что-нибудь вейвлет Хаара:

Исходные данные: Результат:

Если внимательно присмотреться к результирующему рафику, можно заметить увеличение значений на промжутке от 20-го до 40-го члена ряда. В исходном ряде данных все данные расположены внутри одного диапазона, так что на глаз выявить закономерности проблематично. А с помощью вейвлет-преобразования нам удалось выявить закономерность. В этом и заключается его основное удобства и практическая полезность: даже самые малые и незаметные изменения могут быть выявлены и четко представлены. А в некоторых жизненных ситуациях даже казалось бы мелочи могут сыграть важную роль.

Вейвлет-анализ имеет широкий спектр применений, приведу один простой пример. Допустим, у нас имеется электрическая цепь, в которую включен прибор (по сути своей – аналоговый датчик), измеряющий раз в определенный промежуток времени напряжение в этой цепи. Результаты анализируются с помощью вейвлета Хаара. Как только в цепи возникает скачок напряжения, (та самая ступенька!) это отражается на результатах вейвлет-преобразования. В итоге система может обеспечить реакцию на это событие, к примеру, экстренное отключение электричества для предотвращения повреждения других компонентов цепи.

***Заключение***

В своей научной работе я осветил основные аспекты работы с аналоговыми датчиками для решения разнообразных технических задач, а также некоторые методы анализа данных с помощью вейвлет-функций. В своих исследованиях я использовал простейшие вейвлеты и алгоритмы, не углубляясь в математическую сущность процесса вейвлет-преобразования. Для профессионального вейвлетного анализа используется множество различных инструментов и формул, содержащих элементы высшей математики, позволяющих использовать все тонкости вейвлет-анализа. При реализации сложных технических проектов следует учитывать многие детали и нюансы, как аппаратного характера, так и программного, а также подхода к анализу, в том числе немаловажным фактором является выбор анализирующего вейвлета.

Существует множество вейвлетов, намного более сложных, чем простейший вейвлет Хаара, таких как вейвлеты Добеши, Морле, Гаусса и Хоффмана, позволяющих выявлять и анализировать намного более сложные закономерности в рядах данных, активно использующихся в современных технологических процессах и алгоритмах. В целом, теория вейвлетных преобразований продолжает развиваться и по сей день, открывая для себя все более широкие возможности.

***Список литературы***

1. Л. Левкович-Маслюк: Дайджест вейвлет-анализа в двух формулах и 22 рисунках.

2. http://www.samelectric.ru/promyshlennoe-2/induktivny-e-datchiki-raznovidnosti-primenenie-shemy-vklyucheniya.html

3. https://basegroup.ru/community/articles/intro-wavelets

4. http://electrik.info/main/school/847-analogovye-datchiki.html

***Приложения***

Результаты исследования трех рядов данных с помощью вейвлета Хаара:

**Результаты Преобразований Исходные Данные**

Формула Вейвлет-Функции Хаара: График вейвлет-функции Хаара:

