

## ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ В ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛАХ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ АНАЛИЗЕ МАГНИТНЫХ КОДОВ КУПЮР

Беликова Н.Е., группа АСУ-01а

Руководитель доц. каф. АСУ Жукова Т.П.

Одним из наиболее эффективных средств защиты денежных банкнот от подделки на данный момент является включение в их состав железооксидного пигмента, который, благодаря свойству намагничивания, дает возможность считывать информацию, подтверждающую подлинность ценных бумаг. Для защиты от подделки дополнительные магнитные знаки купюр (сигнатуры) выполняются в виде кода [1]. Для считывания этого кода применяются индуктивные магнитные головки, прижимаемые к банкноте [1], в которых считывание кода осуществляется путем последовательной регистрации остаточного намагничивания участков защитной магнитной полосы с имплантированным в них ферромагнитным материалом [2]. Следует отметить, что при считывании детектируются не сами зоны остаточной намагниченности той или иной полярности, а переходы между ними, поэтому в выходном сигнале магнитной головки границы магнитных элементов представлены положительными и отрицательными относительно постоянной составляющей выбросами напряжения, которые на графике сигнала имеют вид пиков [2]. Коррелирование длин кодовых элементов исследуемого образца с эталонным магнитным кодом позволяет одновременно определять номинал денежной банкноты и проверять ее подлинность, что делает реализацию компьютерных методов анализа магнитных кодов особенно актуальной в счетно-денежных машинах (СДМ) на базе микроконтроллеров/микропроцессоров.

На рис. 1 представлен вид сигнала, полученного с выхода индуктивной магнитной головки в составе СДМ. Задача определения длин элементов

магнитного кода сводится к локализации во времени пиков в подобных представленному на рис. 1 нестационарных дискретных сигналах.

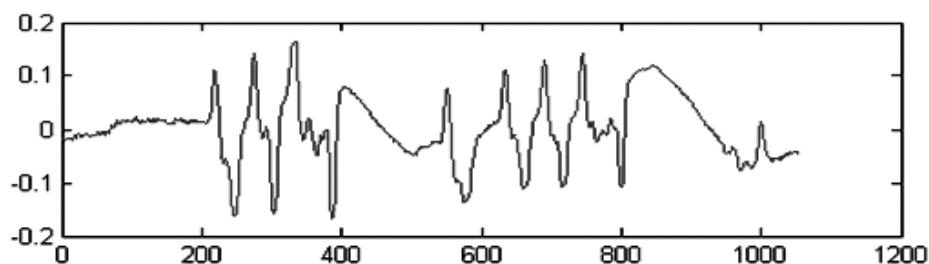


Рисунок 1 — Форма сигнала магнитного кода купюры 5 гривен

Для решения этой задачи предлагается использование:

- анализа выборки сигнала при помощи вейвлет-преобразования;
- порогового анализа выборки сигнала.

Вейвлет-преобразование сигнала состоит в его разложении по базису, сконструированному из солитоноподобной функции (вейвлета), локализованной по оси аргументов, инвариантной к сдвигу и линейной к операции масштабирования [3,4]. Результатом разложения является ряд коэффициентов, значения которых являются мерой корреляции исследуемого сигнала в данный момент времени с базисным вейвлетом. Таким образом, масштабируя базисную функцию, можно добиться различных степеней детализации исследуемого сигнала [3,5]. Различают непрерывное и дискретное преобразование. Непрерывное преобразование содержит в себе очень большой объем информации, поэтому его используют в случаях, где требуется анализ сигналов, выявление особенностей, периодических зависимостей, локальных возмущений [6]. Таким образом, в рассматриваемом случае для анализа сигнала следует применять именно этот метод.

Вейвлет-функция должна удовлетворять 2-м условиям:

1. Среднее значение (интеграл по всей прямой) равен 0.
2. Функция быстро убывает при  $t \rightarrow \infty$ .

В общем случае вейвлет преобразование функции  $f(t)$  выглядит так:

$$W(a,b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot \psi_{ab}(t) dt, \quad (1)$$

где

$$\psi_{ab}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right); \quad a, b \in R; \quad \psi \in L^2(R) \quad (2)$$

представляет базис функционального пространства  $L^2(R)$ , сконструированный с помощью масштабных преобразований и переносов вейвлета  $\psi(t)$  с произвольными значениями базисных параметров — масштабных коэффициентов  $a$  и параметров сдвига  $b$  [5]. Спектр  $W(a,b)$  одномерного сигнала представляет собой поверхность в трехмерном пространстве. Вместо изображений поверхности результаты преобразования часто представляют в виде ее проекции на плоскость  $ab$  с изолиниями, позволяющими проследить изменение интенсивности амплитуд вейвлет-коэффициентов на разных масштабах и во времени [5,6,7].

Благодаря процессу масштабирования и сдвига вейвлет-преобразование способно выявлять локальные особенности. Вейвлет-коэффициенты гладкой функции малы и резко возрастают при появлении особенности, отмечая ее локализацию линиями локальных экстремумов. Характер особенности в точке определяется из асимптотического поведения коэффициентов вейвлет-преобразования при стремлении масштаба к 0 (частоты сигнала — к  $+\infty$ ). Таким образом, изолированная особенность локальным образом влияет на коэффициенты вейвлет-преобразования [3,5,6].

На рис. 1 видно, что амплитуда пиков сигнала не является постоянной. Но для вейвлет-преобразования решающим фактором в локализации особенностей является не их амплитуда, а частота, что является неоспоримым преимуществом этого метода.

По результатам опытных исследований для вейвлет-локализации особенностей сигналов магнитных кодов был выбран материнский вейвлет

Добеши 2-го порядка (вейвлеты данного семейства часто используются в кардиологии при локализации R пиков ЭКГ [8]). Вид данной функции представлен на рис. 2.

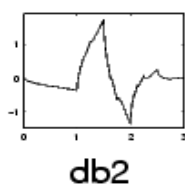


Рисунок 2 — Вид материнского вейвлета Добеши 2-го порядка

Опыты показали, что при анализе сигналов вида рис. 1 наилучшие результаты локализации особенностей сигнала достигаются в диапазоне масштабов [17;21]. Результаты преобразования сигнала магнитного кода купюры 5 гривен представлены на рис. 3. Видно, что локальные максимумы вейвлет-коэффициентов совпадают с локальными максимумами исследуемого сигнала.

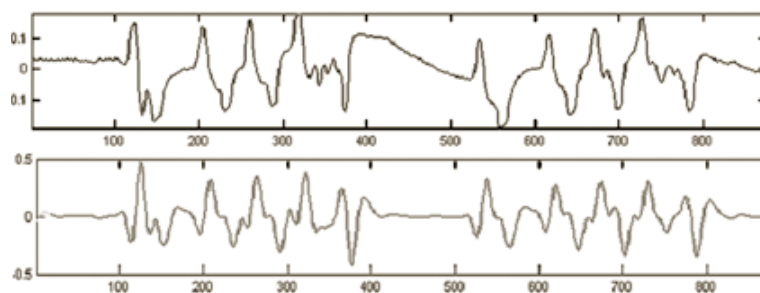


Рисунок 3 — Результаты вейвлет-локализации пиков сигнала

(сверху — график исследуемого сигнала, снизу — график вейвлет-коэффициентов на масштабе  $a = 20$ , материнский вейвлет — Добеши 2-го порядка)

Однако, в подобном анализе сигналов были выявлены недостатки, которые обусловлены характеристиками самих сигналов. Дело в том, что частота пиков исследуемых сигналов имеет некоторый разброс в различных выборках, поэтому, для каждой выборки необходим подбор масштаба вейвлет-

преобразования, на котором будут получены лучшие результаты локализации особенностей, что является достаточно длительным и трудоемким вычислительным процессом. Таким образом, рассматриваемый метод локализации особенностей сигнала дает наилучшие результаты на фиксированном масштабе только при условии однородности частоты пиков сигнала.

Альтернативой вейвлет-локализации пиков сигнала является метод порогового анализа, алгоритм которого достаточно прост:

1. Выбор порога
2. Вычитание постоянной составляющей из сигнала
3. Циклический анализ каждого дискретного отсчета выборки сигнала
4. Локализация отсчетов, которые удовлетворяют следующим условиям:
  - по модулю превышают заданный порог
  - значения соседних отсчетов по модулю меньше значения данного, т.е. — локализация точек перегиба.

Однако, недостатком метода порогового анализа, выявленным посредством проведения опытов с рядом выборок, является его чувствительность к амплитуде особенностей сигнала. В результате порогового анализа могут быть идентифицированы ложные «пики» — превышения заданного порога, вызванные влиянием помех, в частности, низкочастотных помех, характерных для сигналов в СДМ. Для решения проблемы «ложных особенностей» сигнала предлагаются следующие методы:

– ослабление влияния помех методом простого усреднения сигнала плавающим окном;

– выбор порога в зависимости от максимального значения выборки сигнала (например, 80% от максимального отсчета);

– контроль частоты пиков посредством введения дополнительного порога на разность значения в точке предполагаемого пика и соседних точках (данное значение будет большим для меньших частот и наоборот).

В итоге анализа методов вейвлет-локализации особенностей сигнала и порогового анализа сигнала с целью локализации его локальных особенностей можно утверждать, что локализация особенностей сигнала при помощи вейвлет-преобразования может применяться в анализе сигналов, частота пиков которых достаточно однородна, а также в случае, когда нет строгих ограничений на длительность анализа сигнала. Пороговый анализ сигнала с целью локализации его особенностей дает хорошие результаты в случае, если накладываются строгие ограничения на время обработки сигнала и отношение сигнал/шум не меньше 1, иначе получение достоверного значения величины полезного сигнала затруднено [1].

#### Перечень ссылок

1. Шинкарь А. Использование магнитных датчиков фирмы NVE в детекторах фальшивых купюр. — Журнал CHIP NEWS.
2. Ефимов Е.Г. Магнитные головки. — М., Энергия, 1967. — 268 с.
3. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. — Ижевск, «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 464 с.
4. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. — ВУС, 1999. — 204 с.
5. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. / Журнал «Успехи физических наук». — Т. 166. — №11, ноябрь 1996.
6. Переберин А.В. О систематизации вейвлет преобразования./ Доклад на конференции «Вычислительные методы и программирование», 2001. — Т.2, УДК 517.5.
7. Charles K.Chui. An Introduction to Wavelets. — Пер. Жилейкина А.Н.. — М., «Мир», 2001. — 320 с.
8. Лукаш В.В., руководитель Башашин М.В. Разработка модуля анализа ЭКГ на основе непрерывного вейвлет-преобразования, учебно-исследовательская работа. — Московский Государственный инженерно-физический институт (МИФИ), 2000. — 19 с.