

# Алгоритм обнаружения и выделения сигналов в сильно зашумленных потоках данных

В.А. Засов

Самарский государственный университет путей сообщения  
Самара, Россия  
vzasov@mail.ru

М.В. Ромкин

Научно производственный центр «ИНФОТРАНС»  
Самара, Россия  
romkinmaks@rambler.ru

**Аннотация** — Предложено адаптивное устройство обнаружения и выделения сигналов в сильно зашумленных потоках данных. Особенностью устройства является прогнозирование интервалов адаптации, позволяющее работать в режиме потоковой обработки данных.

**Ключевые слова** – алгоритм, адаптивный, помехи, обнаружение, прогнозирование, интервал, поток

## 1. ВВЕДЕНИЕ

При извлечении информации из сильно зашумленных потоков данных актуальной задачей является обнаружение и выделение сигналов из аддитивной сигнала смеси с помехами. Предложенные в [1,2] адаптивные подавители помех (АПП) с адаптацией только в интервалах между импульсами полезного сигнала позволяют подавлять мощные коррелированные с полезными импульсными сигналами помехи. Эти АПП работают в режиме пакетной обработки данных, что ограничивает их применение в системах реального времени. Применяемый в АПП алгоритм обучения, прерывает на время обучения передачу обработанных пакетов сигналов на выход АПП, что ограничивает функциональные возможности устройства.

В работе предлагается алгоритм и реализующее его адаптивное устройство обнаружения и выделения сигналов (АОВС) в сильно зашумленных потоках данных работающее в режиме потоковой обработки данных без перерывов потока во время обучения в случаях изменения параметров импульсных полезных сигналов.

## 2. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И АЛГОРИТМ РАБОТЫ АДАПТИВНОГО УСТРОЙСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ И ВЫДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ

Структурная схема предлагаемого АОВС приведена на рис. 1.

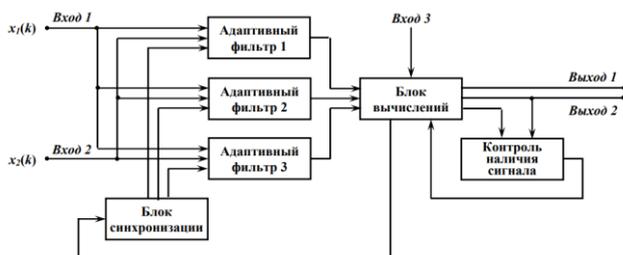


Рис. 1. Адаптивное устройство обнаружения и выделения сигналов (АОВС)

На вход 1 устройства поступает аддитивная смесь  $x_1(k)$  полезного импульсного сигнала и помех (коррелированных с полезным сигналом и шума), на вход 2 – сумма  $x_2(k)$  коррелированных с полезным сигналом помех и шума.

Предлагаемое в работе устройство отличается от известных [1,2] тем, что вычисление моментов времени начала интервалов адаптации производится в процессе приема зашумленного потока сигналов  $x_1(k)$  после обнаружения импульсных сигналов в потоке. Таким образом, исключается временная задержка, обусловленная в известных устройствах [1,2] обработкой записанных в память пакетов входных сигналов, и обеспечивается масштаб реального времени. Для устранения перерывов потока сигналов на выходе 2 и надежной привязки интервала адаптации к интервалам между импульсами предлагается использовать три адаптивных фильтра АФ1, АФ2 и АФ3 и формировать три тестовых импульса ТИ1, ТИ2 и ТИ3, причем ТИ2 в центре группы, ТИ1 опережает ТИ2 и ТИ3 отстает от ТИ2. Тестовые импульсы ТИ определяют интервалы адаптации АФ1, АФ2 и АФ3 в потоке входных сигналов. Сравнивая нормированные мощности сигналов на выходах пар фильтров АФ1 и АФ2 или АФ2 и АФ3 можно определить направление смещения во времени интервалов адаптации для надежного попадания в интервалы между импульсами. Алгоритм работы АОВС описывается следующими шагами.

**Шаг 1:** Проверка наличия или отсутствия полезного импульсного сигнала (обнаружение сигнала) в зашумленном потоке данных  $x_1(k)$ .

Проверка осуществляется путем сравнения в интервалах времени, задаваемыми контрольными импульсами КИ1, КИ2 и КИ3, нормированных мощностей сигналов на выходах АФ1, АФ2 и АФ3. Возможны следующие состояния: попадание интервалов ТИ для фильтров АФ на фронт или срез импульсного полезного сигнала, попадание интервалов ТИ на импульс или интервал между импульсами полезного сигнала. Только состояние, характеризующее равенством нормированных мощностей сигналов на выходах трёх фильтров АФ1, АФ2 и АФ3 указывает на гарантированное попадание интервалов адаптации ТИ на импульс или интервал между импульсами полезного сигнала. При неравенстве нормированных мощностей сигналов на выходах фильтров АФ1, АФ2 и АФ3 осуществляется повторная адаптация со смещением во времени.

Далее производится определение по уровню мощности выходов АФ1, АФ2 и АФ3 ступенчатых изменений в сигналах. При наличии ступенчатых изменений (наличия фронтов и срезов) принимается решение об обнаружении импульсных полезных сигналов в потоке данных на входе 1 и осуществляется переход к шагу 2. При отсутствии ступенчатых изменений в течение определенного временного интервала принимается решение об отсутствии импульсных полезных сигналов в потоке данных, выдается сообщение на выход 1 АОВС и шаг 1 повторяется;

**Шаг 2:** На основе определенных ступенчатых

изменений сигналов производится измерение периодов сигналов, длительностей импульса и вычисление скважности, значения которых записываются в память АОВС и передаются на выход 3.

Если вычисленная в блоке вычислений скважность равно величине скважности, заданной на входе 3 АОВС, принимается решение о попадании интервалов адаптации АФ1, АФ2 и АФ3 в интервал между импульсами. В противном случае принимается решение о попадании интервалов адаптации АФ1, АФ2 и АФ3 на импульс сигнала. Далее осуществляется переход к шагу 3.

**Шаг 3:** Производится вычисление прогнозируемого времени начала интервала адаптации  $t_{прог}$ .

Это время рассчитывается от начала определенного на шаге 2 периода импульсного полезного сигнала. При попадании интервалов адаптации АФ1, АФ2 и АФ3 в интервал между импульсами паузу сигнала  $t_{прог}$  равно

$$t_{прог} = t_{имп} + \frac{t_{пер} - t_{имп}}{2} - 2 \cdot t_{ТИ},$$

где  $t_{имп}$  – длительность импульсов,  $t_{пер}$  – период импульсов,  $t_{ТИ}$  – длительность интервала адаптации АФ.

Если интервал адаптации АФ1, АФ2 и АФ3 попадает на импульс время  $t_{прог}$  вычисляется так

$$t_{прог} = \frac{t_{имп}}{2} - 2 \cdot t_{ТИ}.$$

Вычисленное время  $t_{прог}$  записывается в таймер блока синхронизации и прогнозирует время, когда на входе 1 АОВС появится интервал между импульсами. Тогда по сигналу таймера блока синхронизации запускается процесс адаптации и вычисляются весовые коэффициенты АФ1, АФ2 и АФ3. После завершения адаптации осуществляется переход к шагу 4.

**Шаг 4:** Производится вычисление  $t_{прог}$  начала очередного интервала адаптации на основе сравнения нормированных мощностей сигналов на выходах АФ1, АФ2 и АФ3. Если эти величины равны, это указывает на ситуацию, при которой интервал адаптации находится внутри интервала между импульсами. В этом случае время  $t_{прог}$  начала адаптации, определенное на шаге 3, не изменяется.

Если величины нормированных мощностей на выходах АФ1 и АФ2 или АФ2 и АФ3 не равны, то время начала адаптации находится на границе интервала между импульсами. В первом случае время начала адаптации, вычисленное на шаге 3, требуется уменьшить, во втором – увеличить на величину длительности ТИ, после чего записать  $t_{прог}$  в таймер блока синхронизации и перейти к шагу 5.

**Шаг 5:** Производится сравнение параметров (периода сигналов и длительности импульса) выделенного импульсного полезного сигнала с выхода 2 с записанными в память на шаге 3 такими же параметрами. При равенстве параметров переходим на шаг 4, при неравенстве параметров переходим на шаг 1.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Эффективность предложенных в работе решений подтверждается результатами компьютерного моделирования приведенными на рис. 2. При

моделировании применялся алгоритм адаптации Recursive Least Squares (RLS) [3,4], число весовых коэффициентов АФ1, АФ2, АФ3 равно 32.

На рис. 2 приведены: а) – сигнал  $x_I(k)$  на входе 1

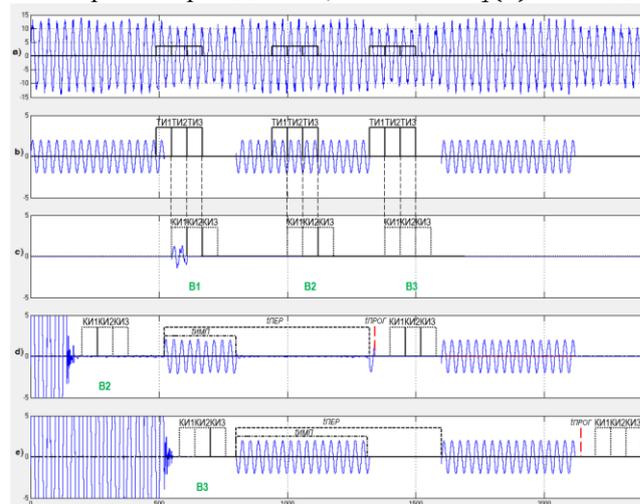


Рис. 2. Результаты компьютерного моделирования адаптивного устройства обнаружения и выделения сигналов

устройства, представляющий собой аддитивная смесь импульсного полезного сигнала амплитудой с коррелированной помехой и белым шумом, уровень; б) – варианты возможного попадания тестовых импульсов ТИ1, ТИ2 и ТИ3 соответственно на срез импульса полезного сигнала в зашумленном сигнале  $x_I(k)$  (B1), на импульс полезного сигнала в сигнале  $x_I(k)$  (B2) и паузу полезного сигнала в сигнале  $x_I(k)$  (B3); в) – положения контрольных импульсов КИ1, КИ2 и КИ3 на выходах соответствующих адаптивных фильтров для ситуаций B1, B2 и B3; д) – определение прогнозируемого момента времени начала интервала адаптации  $t_{прог}$  (шаг 3 алгоритма) для ситуации B2; е) – определение прогнозируемого времени начала интервала адаптации  $t_{прог}$  (шаг 3 алгоритма) для ситуации B3.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны алгоритм и реализующее его адаптивное устройство обнаружения и выделения сигналов в сильно зашумленных потоках данных. Прогнозирование при вычислении интервалов адаптации обеспечивает работу устройства в режиме потоковой обработки данных без перерывов выходного потока во время обучения в случаях изменения параметров полезных сигналов.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Засов, В.А. Адаптивный компенсатор помех в импульсных сигналах / В.А. Засов, М.В. Ромкин // Патент на изобретение RU №2735671 от 22.10.2019.
- [2] Zasov, V. Adaptive Cancellation of Interference in Intermittent and Pulse Signals / V. Zasov, M. Romkin // Data Science. Information Technology and Nanotechnology. Proc. of the Int. Conf. ITNT-2021. –2021. IEEEExplore, 2021. DOI: 10.1109/ITNT52450.2021.9649169.
- [3] Haykin, S. Adaptive filter theory (4<sup>th</sup> ed.) / S. Haykin – Prentice Hall, 2001. – 936 p.
- [4] Джиган, В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: Теория и алгоритмы / В.И. Джиган. – М.: Техносфера, 2013. – 528 с.