

Двухкаскадные адаптивные подавители помех с управляемыми интервалами адаптации

В.А. Засов

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

П.А. Мельников

Самарский государственный университет путей сообщения
Самара, Россия
gleavero@gmail.com

Аннотация—Предложен двухкаскадный адаптивный подавитель помех в прерывистых и импульсных сигналах. Особенностью устройства является предварительная декорреляция и использование пауз входных сигналов, позволяющие подавлять коррелированные помехи, уровень мощности которых значительно превышает уровень мощности полезных сигналов.

Ключевые слова— подавление, помехи, прерывистый, сигнал, пауза, адаптация, двухкаскадный, декорреляция.

1. ВВЕДЕНИЕ

Классические адаптивные фильтры [1] не эффективны для подавления коррелированных с полезными сигналами помех. Предложенные в [2, 3, 4] адаптивные подавители помех (АПП) с адаптацией только в паузах сигналов позволяют подавлять коррелированные с полезными сигналами помехи. Применение таких АПП [2, 4] для прерывистых сигналов ограничивается уровнем мощности помех, который должен быть меньше уровня мощности полезных сигналов. Если же уровень мощности помех превышает уровень мощности сигналов, полезные сигналы должны быть периодическими [3, 4], что ограничивает область применения этого типа АПП

В работе предлагается алгоритм и реализующий его двухкаскадный АПП в прерывистых и импульсных сигналах, позволяющий подавлять коррелированные с полезными сигналами помехи, уровень мощности которых может значительно превышать уровень мощности сигналов.

2. ДВУХКАСКАДНЫЕ АДАПТИВНЫЕ ПОДАВИТЕЛИ ПОМЕХ В ПРЕРЫВИСТЫХ И ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛАХ

Предлагаемый в работе АПП отличается от известных [2, 3, 4] тем, что алгоритм подавления помех двухэтапный и состоит из двух ступеней подавления.

На первой ступени производится предварительное подавление коррелированных помех, которое позволяет обнаружить и вычислить паузы в полезном сигнале. На второй (завершающей) ступени производится полное подавление помех с использованием вычисленных на первой ступени пауз [2, 4].

Структурная схема процесса формирования в объекте сигналов, поступающих на входы АПП, приведена на рис. 1, где $s_1(k), s_2(k), s_3(k)$ – источники соответственно полезного сигнала, коррелированной и некоррелированной с полезным сигналом помехи, а $x_1(k)$ и $x_2(k)$ – аддитивные смеси полезного сигнала и помех, поступающее на входы АПП.

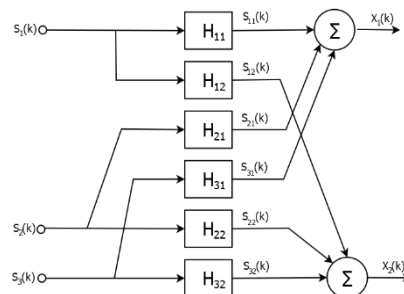


Рис. 1. Структурная схема процесса формирования в объекте сигналов поступающих на входы адаптивного подавителя помех

На рис. 2 приведена структурная схема предлагаемого АПП, который содержит два каскада.

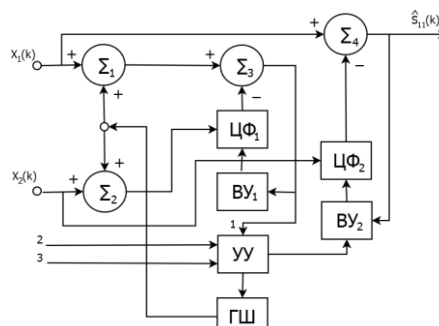


Рис. 2. Структурная схема двухкаскадного адаптивного подавителя помех в прерывистых и импульсных сигналах

На первом каскаде, образованном блоками суммирования $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3$, цифровым фильтром ЦФ1, вычислительным устройством ВУ1, устройством управления УУ и генератором белого шума ГШ, реализуется первая ступень адаптивного подавления коррелированной помехи.

На втором каскаде, образованном блоком суммирования Σ_4 , цифровым фильтром ЦФ2 и вычислительным устройством ВУ2, реализуется вторая ступень – полное адаптивное подавление помехи с использованием вычисленных на первой ступени пауз.

В условиях высокого уровня мощности коррелированных помех, существенно превышающим уровень мощности полезного сигнала, определение пауз в полезном сигнале $s_{11}(k)$ по уровню мощности в сигнале $x_1(k)$ практически невозможно. В этих условиях для выделения пауз в полезном сигнале $s_{11}(k)$ предлагается производить декорреляцию [5] сигналов $x_1(k)$ и $x_2(k)$.

Декорреляция (отбеливание) осуществляется в первом каскаде АПП путем добавления в сигналы $x_1(k)$ и $x_2(k)$ на входах АПП белого шума с выхода ГШ. С помощью блоков Σ_1, Σ_2 белый шум суммируется с сигналами $x_1(k)$ и $x_2(k)$, что позволяет уменьшать долю мощности коррелированной составляющей помехи $s_2(k)$ в общей мощности аддитивной смеси сигналов $x_1(k)$ и $x_2(k)$. Освобождением от корреляции [5] достигается увеличение коэффициента подавления коррелированной помехи на первой ступени АПП.

Процесс декорреляции является итерационным и пошаговым. На каждом шаге ГШ по командам УУ увеличивает на определенную величину мощность шума. УУ анализирует изменения уровня мощности сигнала на выходе первой ступени АПП (выход блока Σ_3) и определяет наличие пауз.

Состояния пауз вычисляются УУ путем сравнения мощности сигнала, поступающего с выхода блока Σ_3 на первый вход УУ, с некоторым пороговой величиной, задаваемой на втором входе УУ. Эта пороговая величина определяет минимальный уровень мощности полезного сигнала $s_{11}(k)$, ниже которого сигнал считается отсутствующим, т.е. определяется состояние паузы.

На третьем входе УУ задается длительность шага итерации, определяемая величиной максимального временного интервала ожидания полезного сигнала $s_{11}(k)$ на первом входе АПП.

Если пауза определена, процесс итерации завершается и интервал паузы (моменты начала и завершения пауз) передаются в ВУ2 второго каскада АПП. Если пауза не определена, производится следующая итерация: ГШ увеличивается уровень мощности шума, УУ анализирует сигнал на выходе блока Σ_3 с целью определения пауз и т.д. Количество итераций ограничивается максимальным уровнем мощности коррелированной помехи, задаваемым для АПП.

На второй ступени производится полное подавление помех с использованием вычисленных на первой ступени пауз [2, 4], т.е. получение сигнала $\hat{s}_{11}(k)$, в котором помехи подавлены. Адаптация производится только в паузах полезного сигнала. Вне пауз сигнала адаптация запрещена и выделение сигнала $\hat{s}_{11}(k)$ путем вычитания из суммы $x_1(k)$ сигнала $x_2(k)$ производится с весовыми коэффициентами фильтра ЦФ2, вычисленными в конце предшествующей паузы и записанными в буферную память.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Эффективность подавления помех предложенным двухкаскадным АПП подтверждается результатами компьютерного моделирования приведенными на рис.3. При моделировании применялся алгоритм адаптации Recursive Least Squares (RLS) [1], число весовых коэффициентов цифровых фильтров ЦФ1 и ЦФ2 равно 16.

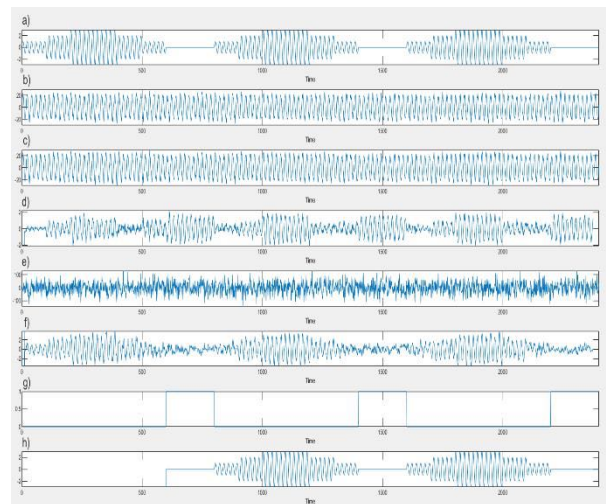


Рис. 3. Результаты компьютерного моделирования подавления помех двухкаскадным АПП

На рис. 3 приведены сигналы: (а) — прерывистый полезный сигнал $s_{11}(k)$; (б) – сумма сигналов помех $s_{21}(k)$ и $s_{31}(k)$, коррелированных с $s_{11}(k)$ и уровень мощности которых в 6 раз превышает уровень мощности полезного сигнала; (с) – сигнал $x_1(k)$ на первом входе АПП; (d) – пример практически неприемлемого подавления помех классическим АПП [1]; (е) – зашумленный ГШ при декорреляции сигнал на первом и втором входах АПП; (f) – результаты подавления помех первой ступенью АПП (выход блока Σ_3) после 4 шагов процесса декорреляции; (g) – выделенные УУ интервалы пауз; (h) – сигнал $\hat{s}_{11}(k)$ на выходе второй ступени АПП. В результате подавления коррелированных помех сигнал $\hat{s}_{11}(k)$ равен сигналу $s_{11}(k)$ с приведенной погрешностью не превышающей 11%, что подтверждает эффективность применения предложенного двухкаскадного АПП.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны алгоритм и реализующий его двухкаскадный адаптивный подавитель помех в прерывистых и импульсных сигналах. Применение декорреляции позволяет подавлять коррелированные помехи, уровень мощности которых значительно превышает уровень мощности полезных сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Джиган, В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: Теория и алгоритмы / В.И. Джиган. – М.: Техносфера, 2013. – 528 с.
- [2] Засов, В.А. Адаптивный компенсатор помех в импульсных сигналах / В.А. Засов, М.В. Ромкин // Патент на изобретение RU №2736199 от 27.01.2020.
- [3] Засов, В.А. Адаптивный компенсатор помех в импульсных сигналах / В.А. Засов, М.В. Ромкин // Патент на изобретение RU №2735671 от 22.10.2019.
- [4] 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. IEEE Xplore, 2021. DOI: 10.1109/ITNT52450.2021.9649169.
- [5] Меркушев, А.В. Методы и алгоритмы разделения смеси сигналов. 1. Применение декорреляции и статистик второго порядка / А.В. Меркушев, Г.Ф. Малыгина // Научное приборостроение. – 2009. – Т. 19, № 2. – С. 90-103.