

УДК 621.391.8

**ОБНАРУЖЕНИЕ И КОМПЕНСАЦИЯ
ЗАШУМЛЕННЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ****д-р техн. наук, проф. В.К. ЖЕЛЕЗНЯК, А.В. БАРКОВ**
(Полоцкий государственный университет)

Задачей исследования является обнаружение периодической импульсной последовательности из аддитивных шумов высокого уровня с целью последующего её подавления. Обнаружение основано на быстром преобразовании Фурье и априорной информации о спектре периодических импульсных последовательностей. Сравнение и оценка обнаружения произведена при помощи оптимального приема и порогового детектирования. Выбор порога осуществлен по известным критериям оптимальности в задачах обнаружения сигналов. Подавление импульсных последовательностей в канале утечки информации решается их компенсацией воспроизведением противофазного обнаруженного сигнала. Эксперименты проведены моделированием периодической импульсной последовательности с добавлением аддитивных шумов, таких как белый шум, хаотическая импульсная последовательность, телеграфный сигнал. Предложен метод обнаружения и компенсации зашумленных импульсных последовательностей.

Введение. Передача информации в настоящее время реализуется преимущественно в цифровом виде. Передаваемый сигнал представляется сложным, так как при цифровой передаче в него врезается сигнал синхронизации. Сигнал синхронизации представляется периодическими импульсными последовательностями. К сложным сигналам, в частности, относятся видеосигналы, сигналы цифровой речи, передача цифровых данных. Их структура представляет сложный сигнал, который содержит в своем составе импульсы синхронизации, которые в совокупности представляют синхросмесь.

Обнаружение синхросигналов в шумах при оценке защищенности информации – демаскирующий признак, по которому принимают решение о наличии канала утечки информации. Видеосигналы накапливают, используя полученные данные о параметрах синхронизации. Выделение синхронизирующих импульсов позволяет проводить синхронное накопление информации, например, в виде видеокладов. Накопление информации позволяет улучшить отношение сигнал/шум видеокладов. Синхронизация используется при передаче цифровых сообщений, которые имеют логическую форму двоичных единиц и нулей [1, с. 84].

Цель данного исследования – обосновать обнаружение импульсов синхронизации в шумах высокого уровня и последующее их подавление в канале утечки информации для обеспечения его разрушения.

Проанализируем известные принципы выделения сигналов из шумов.

В работе [2] представлен принцип выделения потоков импульсных сигналов, основанный на их совпадении, который реализуется с применением накопителей на линиях задержки с положительной обратной связью. Недостатками этого принципа являются ограниченные функциональные возможности.

Обнаружение периодических импульсных последовательностей и оценка их периода основаны на измерении временных интервалов между моментами прихода смежных импульсов входного потока [3].

Решения в [2; 3] не рассматривают возможность обнаружения сигнала в шумах высокого уровня, в маскирующих помехах в виде белого шума, учитывают только влияния мешающих импульсных последовательностей.

В работе [4] предложен способ измерения и подавления физических полей самонастраивающимся опорным полем. Недостатком способа является невозможность обнаружения сигнала в шумах высокого уровня.

Задача предлагаемого метода – обеспечение возможности обнаружения и компенсации зашумленных импульсных последовательностей в шумах высокого уровня при воздействии помех, таких как белый шум, хаотическая импульсная последовательность, телеграфный сигнал, а также обеспечение возможности обнаружения и компенсации импульсного сигнала в аддитивной смеси с шумом.

Алгоритм обнаружения периодических импульсных последовательностей. Алгоритм решения задачи состоит в том, что для обнаружения периодических импульсных последовательностей их выделяют из шумов и оценивают параметры зашумленного сигнала. Временное представление зашумленного сигнала преобразуют в частотное. Спектр амплитуд, получаемый из периодической импульсной последовательности, имеет ряд гармонических составляющих, при этом частота следования импульсов соответствует частоте первой гармоники [5, с. 32]. Задача решается путем моделирования синхросигнала в аддитивной смеси с шумом в канале утечки информации. Генерируют прямоугольные импульсы с заданными параметрами амплитуды, частоты, скважности и генерируют маскирующий шум. Прямоугольные импульсы исходного сигнала смешивают с шумом, полученная смесь моделирует канал утечки. Разде-

ляют сигнал на отрезки равной произвольной длительности. Дискретное преобразование Фурье каждого отрезка зашумленного сигнала суммируют по формуле:

$$S = \sum_0^{N-1} FFT(S_n),$$

где N – количество отрезков сигнала равной длины; S_n – сигнал указанной длины; FFT – Фурье-преобразование сигнала; S – накопленные преобразованные отрезки сигнала.

Накопление в частотной области позволяет без априорных данных о периоде следования импульсов улучшить отношение сигнал/шум в отличие от накопления во временной области. Накопленные спектральные составляющие амплитуд зашумленного сигнала позволяют обнулить шумовые составляющие, не кратные частоте следования импульсов f исходного сигнала, включая нулевую гармонику. Обратным дискретным преобразованием Фурье обработанного сигнала получают восстановленный сигнал и сравнивают его с исходным, из которого предварительно удалена его постоянная составляющая. Идентичность сравниваемых сигналов позволяет принять решение об обнаружении и выделении периодической импульсной последовательности. Сравнение и оценку обнаружения производят при помощи оптимального приема и порогового детектирования, выбор порога осуществляем по известным критериям оптимальности решений в задачах обнаружения сигналов [6, с. 33], а за оценку периодов обнаруженных импульсных последовательностей принимают частоту гармоники спектра амплитуд с наибольшей амплитудой, частота которой соответствует частоте следования импульсов.

Компенсация периодических импульсных последовательностей в канале утечки информации. Принцип предлагаемого метода реализуется следующим образом. Входным параметром является зашумленный сигнал, который может содержать периодическую импульсную последовательность $x(t)$ с неизвестными параметрами (рис. 1).

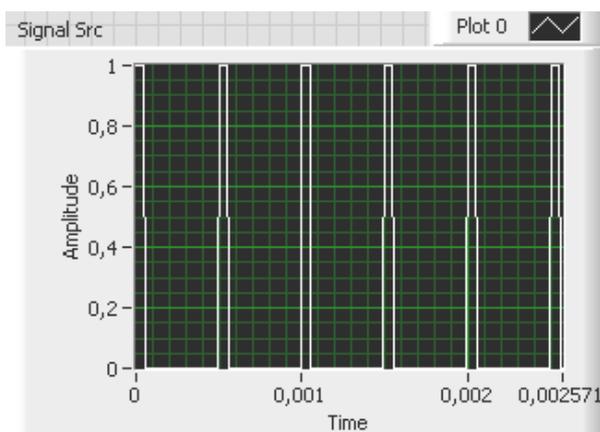


Рис. 1. Последовательность прямоугольных импульсов

Задача заключается в том, чтобы принять решение о наличии или отсутствии периодической импульсной последовательности с неизвестными параметрами в шумах (рис. 2).

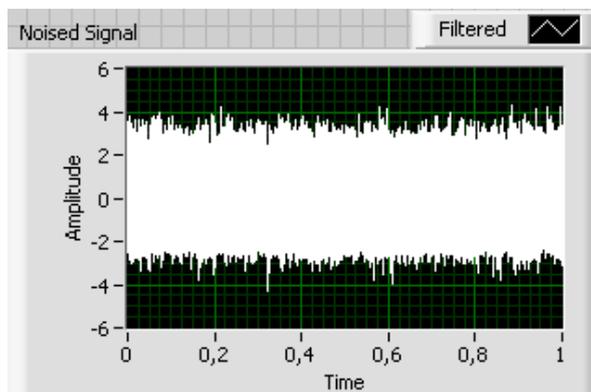


Рис. 2. Зашумленная периодическая импульсная последовательность

Рассмотрим последовательность (пачку) прямоугольных импульсов. Она характеризуется длительностью импульса, периодом следования импульсов и общим числом импульсов в пачке [7, с. 316]. Неизвестными параметрами периодической импульсной последовательности могут быть: A – амплитуда; f – частота следования импульсов ($T = 1/f$ – период следования импульсов), длительность импульсов, число импульсов в пачке.

Обнаружение сигнала производим алгоритмом, описанным ранее. Время обработки определяется количеством отрезков разбиения сигнала и предполагаемым количеством импульсов в них, которые определяют порог обнаружения сигнала. Делаем допущение о наличии сигнала периодической импульсной последовательности с неизвестными параметрами в шумах высокого уровня. Количество разбиений для обнаружения сигнала равно $N_1, N_2, N_3 \dots N_I$, где I определяется порогом обнаружения.

При моделировании периодической импульсной последовательности исходными параметрами эксперимента явились частота следования импульсов 2000 Гц и амплитуда импульсов 1 В.

Представим зашумленную импульсную последовательность в частотной области $F\{x\}$. Спектр амплитуд зашумленного сигнала представлен на рисунке 3.

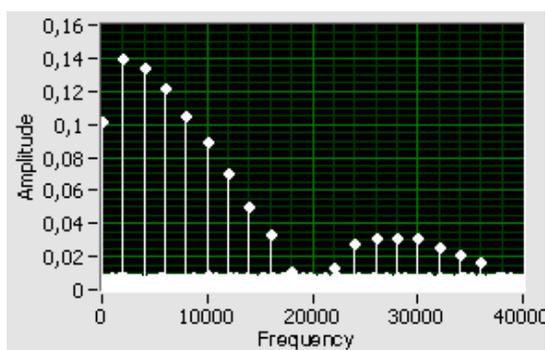


Рис. 3. Спектр зашумленного сигнала

По спектру амплитуд определяют гармонику с наибольшей амплитудой. Рисунок 3 показывает, что будет выделена гармоника с амплитудой 0,14 и частотой 2000 Гц. За частоты следования импульсов f обнаруженной периодической импульсной последовательности принимают частоту гармоники спектра амплитуд с наибольшей амплитудой, производим выделение этой гармоники. В данном случае это гармоника на частоте 2000 Гц. Этот параметр носит информативный характер, при правильном обнаружении данная частота будет соответствовать частоте следования импульсов f .

Производим фильтрацию спектра, обнуляя составляющие, не кратные основной частоте следования импульсов f (значение этой частоты определили по спектру амплитуд ранее). Кратность частот определяем по формуле:

$$f_k = f \cdot k, \tag{2}$$

где $k = 0, 1, 2, \dots, N$ – номер гармоники; f – частота следования импульсов.

Спектр амплитуд после фильтрации представлен на рисунке 4.

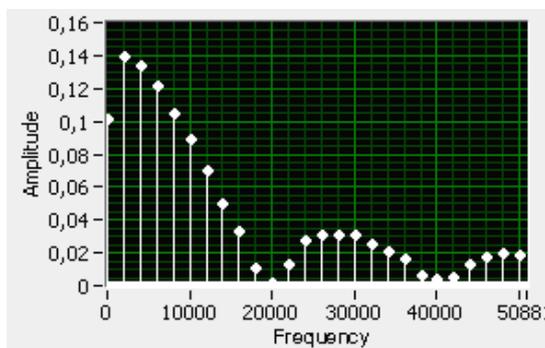


Рис. 4. Спектр зашумленного сигнала после фильтрации

Спектр амплитуд периодической импульсной последовательности из исходного зашумленного сигнала $x(t)$ и восстановленного сигнала после фильтрации незначительно отличаются амплитудами.

Выполняем обратное дискретное преобразование Фурье (ОДПФ) и производим нормирование амплитуд восстановленной импульсной последовательности по формуле

$$Sig = InvFFT\{S\} / N, \quad (3)$$

где $InvFFT\{S\}$ – обратное дискретное преобразование Фурье; N – количество отрезков сигнала равной длины, получаем восстановленный сигнал $x1(t)$.

В результате выполненного преобразования получаем восстановленную импульсную последовательность. Если сравнить импульсную последовательность из исходного сигнала (см. рис. 1) и восстановленную импульсную последовательность после обратного дискретного преобразования Фурье (рис. 5), видно, что импульсная последовательность восстановлена с некоторыми искажениями по форме, однако значительно отличается от зашумленного сигнала (см. рис. 1).

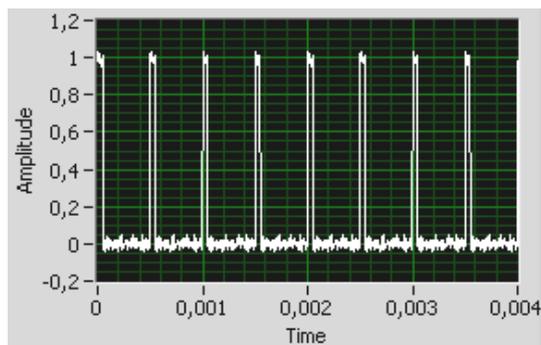


Рис. 5. Импульсная последовательность после обратного дискретного преобразования Фурье

Сравниваем импульсные последовательности, представленные на рисунке 1, принимаем решение о соответствии восстановленной импульсной последовательности исходной. Соответствие сигнала исходному определяем с помощью оптимального приема и порогового устройства; выбор порога осуществляется по известным критериям оптимальности решений в задачах обнаружения сигналов [6, с. 33].

За оценку частоты следования периодической импульсной последовательности принимаем значение, равное 2000 Гц, что соответствует значению частоты следования импульсов в исходном сигнале. Осуществляем поворот восстановленного сигнала $x1(t)$ (рис. 6) в противофазе, получаем сигнал $x1r(t)$. Таким образом, при сложении с зашумленным сигналом $x(t)$ этот сигнал разрушит посредством компенсации периодическую импульсную последовательность, которая была в зашумленном сигнале.

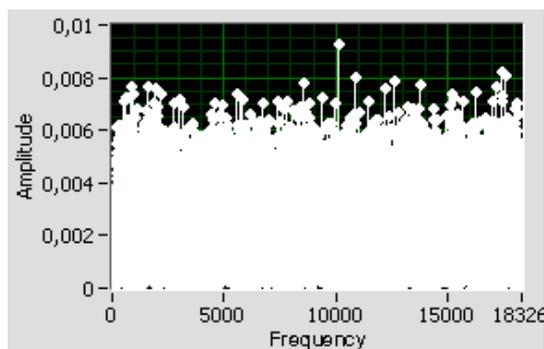


Рис. 6. Спектр разрушенного сигнала в канале утечки информации

Если определили наличие сигнала в шумах, подаем управляющий сигнал $c1$, который устанавливает, что необходимо разрушить периодическую импульсную последовательность. Производим сложение сигналов $x(t)$ и $x1r(t)$, если принимаем управляющий сигнал $c1$, который подается в случае, если установили наличие периодической импульсной последовательности в шумах. На выходе получаем разрушенный сигнал $x2(t)$, в котором скомпенсирована периодическая импульсная последовательность.

Рисунок 6 представляет спектр разрушенного сигнала, который значительно отличается от спектра зашумленного сигнала (см. рис. 3) и в нем отсутствуют признаки наличия сигнала в шумах, что говорит об успешном разрушении сигнала. Моделирование отсутствия периодической импульсной последователь-

ности с неизвестными параметрами в шумах производится после её разрушения. Решение об отсутствии сигнала принимается на основании наличия сигнала либо его отсутствии ниже порога обнаружения.

Обнаружение синхросигналов в шумах при оценке защищенности информации представляет признак, по которому принимают решение о наличии канала утечки. Считается, что цифровое сообщение имеет логическую форму двоичных единиц и нулей и с целью передачи проходит этап импульсной модуляции, в результате чего преобразуется в низкочастотные (импульсные) сигналы, или видеоимпульсы. Видеоинформацию накапливают, используя полученные данные о параметрах синхронизации, также накопление информации позволяет улучшить отношение сигнал/шум. Выделение синхронизирующих импульсов позволяет проводить синхронное накопление информации, например, в виде видеокадров.

В режиме VGA для строчной частоты 31,5 кГц при длительности сигнала 10 с и разделении по 1000 строчных импульсов в пачке произведено 314 накоплений в спектральной области. По накопленному сигналу 31,5 кГц обнуляем шумовые составляющие в спектре, не кратные строчной частоте. В зависимости от зашумленности канала утечки длительность сигнала увеличивается. Увеличение количества импульсов в пачке обуславливает уменьшение искажения частотного представления. Наличие строчной частоты в канале утечки видеоинформации позволяет применять предложенный способ для обработки и извлечения зашумленной видеоинформации. Предложенный метод является универсальным, так как при различных структурах маскирующих сигналов результаты обработки аналогичны.

Заключение. Исследованы обнаружение, выделение и компенсация периодических импульсных последовательностей и импульсов синхронизации в шумах высокого уровня при воздействии различных аддитивных помех. Показано обнаружение периодических импульсных последовательностей в шумах с принятием решения о соответствии восстановленного сигнала исходному, разрушение сигнала в канале утечки информации путем компенсации исходного сигнала восстановленной импульсной последовательностью.

Предложенный метод обладает следующими преимуществами: обнаружение и компенсация периодических импульсных последовательностей в шумах высокого уровня при воздействии факторов помех, таких как белый шум, хаотическая импульсная последовательность, телеграфный сигнал, обнаружение импульсных последовательностей в аддитивной смеси с шумом, в которой может меняться амплитуда сигнала за счет наложения шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – 2-е изд., испр.; пер. с англ. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
2. Лезин, Ю.С. Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов / Ю.С. Лезин. – М.: Сов. радио, 1969. – 320 с.
3. Способ обнаружения периодических импульсных последовательностей и оценки их периода: пат. 2251704 Рос. Федерации, МПК G01R23/02; опубл. 10.05.2005.
4. Способ и устройство для измерения и подавления физических процессов (полей) окружающей среды самонастраивающимся опорным процессом (полем): пат. 2391678 Рос. Федерации, МПК G01R29/08; опубл. 27.01.2010.
5. Денисенко, А.Н. Статистическая теория радиотехнических систем / А.Н. Денисенко. – М.: АРИ, 2007. – 200 с.
6. Помехоустойчивость информационных радиосистем управления: учеб. пособие / А.Г. Охонский [и др.]. – М.: МГАП «Мир книги», 1993. – 216 с.
7. Ван Трис, Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис. – Нью-Йорк, 1971; пер. с англ. проф. В.Т. Горяинова. – М.: Сов. радио, 1977. – Т. III: Обработка сигналов в радио- и гидролокации и прием случайных гауссовых сигналов на фоне помех. – 664 с.

Поступила 21.02.2013

DETECTION AND COMPENSATION OF NOISY PULSE SEQUENCE

V. ZHELEZNYAK, A. BARKOV

We consider the detection of periodic pulse sequences and their suppression by compensation in the channel of information leakage. The objective is to find a periodic pulse sequence of additive noise of high level for its subsequent suppression. Detection is based on the fast Fourier transform and a priori information on the spectrum of the periodic pulse sequences. Comparison and evaluation of the detection is carried out with the best reception and the threshold detection. The choice of threshold is performed by well-known criteria of optimality in problems of signal detection. Suppression of pulse sequences in the channel of leak is solved by their compensation by playback of antiphase signal detection. Experiments were carried out by simulations of the periodic pulse sequence with the addition of the additive noise such as white noise, a chaotic pulse train, telegraph signal. The method of detection and compensation of noisy pulse sequences is suggested.