

УДК 621.391.8

**ОБНАРУЖЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ И ОЦЕНКА ИХ ПЕРИОДА****д-р техн. наук, проф. В.К. ЖЕЛЕЗНЯК, А.В. БАРКОВ**  
(Полоцкий государственный университет)

*Рассматривается обнаружение периодических импульсных последовательностей и оценка их периода в канале утечки информации. Задачей является выделение периодической импульсной последовательности из шумов высокого уровня. Показано, что обнаружение импульсной последовательности обеспечивается в аддитивной смеси. Эксперименты выполнены моделированием периодической импульсной последовательности с добавлением аддитивных шумов, таких как белый шум, хаотическая импульсная последовательность, телеграфный сигнал. Решение задачи основано на преобразовании Фурье и априорной информации об особенностях спектра периодических импульсных последовательностей. Сравнение и оценка обнаружения осуществлены при помощи оптимального приема и порогового детектирования, выбор порога реализован по известным критериям оптимальности решений в задачах обнаружения сигналов.*

**Введение.** Передача информации в настоящее время реализуется преимущественно в цифровом виде, и в будущем эта тенденция только усилится. Передаваемый сигнал представляется сложным, так как при цифровой передаче в него врезается сигнал синхронизации. Сигналы синхронизации – периодические импульсные последовательности. К сложным сигналам, в частности, относятся видеосигналы, цифровая речь, передача данных в цифровом виде. Структура видеосигнала – это сложный сигнал, который содержит в своем составе импульсы синхронизации, которые в совокупности представляют синхросмесь.

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 [1, с. 84]. Видеоинформацию накапливают, используя полученные данные о параметрах синхронизации. Накопление информации позволяет улучшить отношение сигнал-шум. Выделение синхронизирующих импульсов позволяет проводить синхронное накопление информации, например в виде видеокадров.

Так, телевизионный сигнал, получающийся при передаче статических изображений, т.е. неподвижных объектов, обладает своеобразной особенностью периодичности. При длительной передаче неподвижного изображения, телевизионный сигнал считается статическим с частотой кадров  $f_{кадр}$  [2] и приблизительно периодическим, передаваемым с частотой полукадров, так как корреляционная связь соседних полукадров весьма высока.

Цель данного исследования – обнаружение импульсов синхронизации в шумах высокого уровня для обеспечения синхронного накопления статических кадров.

В работе [3] представлен принцип выделения потоков импульсных сигналов, основанный на совпадении последних и реализуемый с применением накопителей на линиях задержки с положительной обратной связью; недостатками рассмотренного принципа являются ограниченные функциональные возможности.

Обнаружение периодических импульсных последовательностей и оценка их периода опирается на измерение временных интервалов между моментами прихода смежных импульсов входного потока [4].

Решения поставленной задачи в этих работах не рассматривают возможность обнаружения сигнала в шумах высокого уровня, учитывают только влияние мешающих факторов импульсных последовательностей без учета помех в виде белого шума, кроме того, не учитывается возможность сложения амплитуд сигнала и шума.

Обнаружения периодических импульсных последовательностей и оценка их периода могут быть использованы в области измерительной и вычислительной техники, в устройствах совместного обнаружения и оценки параметров случайных потоков импульсов с дискретным временем обнаружения сигналов в канале утечки информации.

**Алгоритм обнаружения периодических импульсных последовательностей.** Алгоритм решения задачи состоит в том, что для обнаружения периодических импульсных последовательностей и оценки их периода производят измерение и оценку параметров зашумленного сигнала.

Спектр амплитуд периодической импульсной последовательности имеет ряд гармонических составляющих (рис. 1), при этом частота следования импульсов соответствует частоте первой гармоники [6, с. 32]. Генерируют прямоугольные импульсы с заданными параметрами амплитуды, частоты, скваж-

ности и генерируют шум. Прямоугольные импульсы исходного сигнала смешивают с шумом, получают зашумленный сигнал, полученная смесь моделирует канал утечки. Производят разделение сигнала на отрезки равной длительности. Далее осуществляют дискретное преобразование Фурье каждого отрезка зашумленного сигнала. Суммируют результаты преобразования по каждому отрезку 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;  $S$  – накопленное Фурье-преобразование отрезков сигнала.

По данным преобразования Фурье, полученного в результате накопления, формируют спектр амплитуд зашумленного сигнала, по которому определяют гармонику с наибольшей амплитудой, без учета значения нулевой гармоники. Частоту гармоники с наибольшей амплитудой сравнивают с частотой следования импульсов  $f$  исходного сигнала, обнуляют из спектра амплитуд его составляющие, не кратные частоте следования импульсов  $f$  исходного сигнала (частота является априорно известной информацией при генерации прямоугольных импульсов), и нулевую гармонику. Производят обратное дискретное преобразование Фурье обработанного (после обнуления) сигнала, сравнивают полученный сигнал с исходным, из которого удалена его постоянная составляющая. Делают вывод о соответствии полученного сигнала исходному, на основании чего принимают решение об обнаружении исходного сигнала. Сравнение и оценку обнаружения производят при помощи оптимального приема и порогового детектирования, выбор порога осуществляют по известным критериям оптимальности решений в задачах обнаружения сигналов [5, с. 33], а за оценку периодов обнаруженных импульсных последовательностей принимают частоту гармоники спектра амплитуд с наибольшей амплитудой, частота которой соответствует частоте следования импульсов.

Шум может быть различной структуры: белый, телеграфный сигнал, хаотическая импульсная последовательность (ХИП). Хаотическую импульсную последовательность генерируем на основании случайного процесса, в качестве которого используем белый гауссовый шум. Вычисление некоторых характеристик выбросов случайных процессов (среднее число и дисперсия числа выбросов, распределение выбросов по длительности и др.) можно свести к рассмотрению аналогичных характеристик для случайных последовательностей импульсов (часто прямоугольной формы), получающихся в результате неинерционного нелинейного преобразования специального вида (ограничения) исходного случайного процесса [7]. Для преобразования белого гауссового шума в ХИП-сигнал используем смещенный идеальный симметричный ограничитель. Такой нелинейный элемент преобразует воздействующий на него случайный процесс в случайную последовательность биполярных импульсов с фиксированной высотой. При этом положительные выбросы случайной функции, превышающие уровень  $C$ , трансформируются в последовательность положительных прямоугольных импульсов, а интервалы между положительными выбросами – в последовательность отрицательных прямоугольных импульсов [7]. Различные шумы изменяют структуру сигнала и его спектр по-разному. Так, спектр белого шума равномерен по всей полосе частот. Спектр ХИП и телеграфный сигнал по своей форме подобны спектру периодической импульсной последовательности. Таким образом, большая часть энергии ХИП сосредоточена в полосе нижних частот, а как известно, до 90 % энергии периодических последовательностей содержится в первых трех лепестках огибающей спектра (см. рис. 1). Недостатком при генерации шумовых сигналов является ограниченная полоса генераторов шума, формируемых с помощью шумовых диодов. Спектральная плотность видеосигнала – широкополосная, спектр – композиционный. Таким образом, белый шум будет подавлять гармоники низких и высоких частот одинаковой энергией, при этом низкочастотные гармоники сигнала, которые содержат большую часть энергии, будут подавляться слабее, чем высокочастотные. Формирование маскирующего сигнала на базе ХИП имеет преимущество. Так, спектральная плотность такого сигнала превышает спектральную плотность шума, сформированного шумовыми диодами, кроме того, огибающие спектральной плотности видеосигнала и ХИП подобны. Спектр плотности ХИП полностью маскирует, белый шум не разрушает очертания крупнодетальных изображений. Сложение сигнала и шума позволяет получить аддитивную смесь, которая моделирует канал утечки информации. Преобразование Фурье представляет сигнал в частотной области, что позволяет оценить частоту следования импульсов и получить спектр смеси сигнал и шум, в которой обнуляют гармоники, соответствующие шумовому сигналу. После обнуления гармоник шума, которые не кратны частоте следования импульса, производят обратное преобразование Фурье. В результате получают сигнал с лучшим отношением сигнал-шум, что позволяет выделить исходную периодическую последовательность импульсов с большей достоверностью.

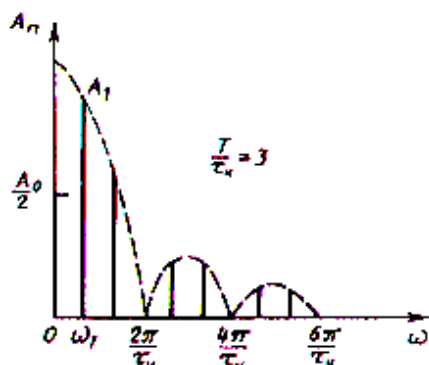


Рис. 1. Спектр амплитуд периодической импульсной последовательности

**Возможная реализация обнаружения периодических импульсных последовательностей.**

Структурная схема возможной реализации приведена на рисунке 2. Возможный вариант её технической реализации включает генератор 1 прямоугольных импульсов синхронизации единичной амплитуды и генератор 2 шума. К одному выходу генератора 1 последовательно подключен сумматор 3, к выходу генератора 2 – полосовой фильтр 4. К выходу сумматора подключен блок разделения сигнала 5 на равные по времени отрезки. К выходу блока 5 последовательно подключены: блок первого дискретного преобразования Фурье (ДПФ) 6; блок получения спектра амплитуд 7; блок определения максимальной амплитуды в спектре 8; блок фильтрации спектра удалением гармоник, не кратных частоте сигнала, и нулевой составляющей 9; первое обратное преобразование Фурье (ОДПФ); блок 10, блок выходного сигнала 11. К выходу блока 11 подключен блок 15, который осуществляет оптимальный прием сигнала. К другому выходу генератора 1 последовательно подключены второй блок дискретного преобразования Фурье (ДПФ) 12, фильтрация спектра удалением нулевой составляющей 13 и второе обратное преобразование Фурье (ОДПФ) 14. Выходы блоков 11 и 14 соединены с устройством 15 сравнения входного сигнала и выходного после фильтрации.

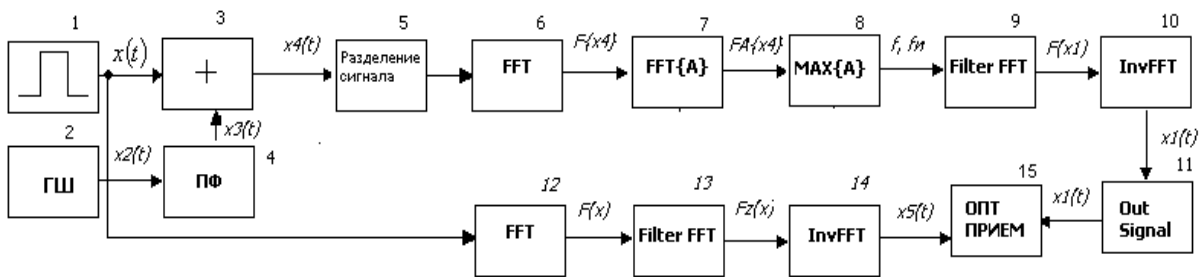


Рис. 2. Структурная схема

Обнаружение периодической импульсной последовательности в аддитивной смеси с шумом осуществляют следующим образом. Блоком 1 генерирует прямоугольные импульсы (рис. 3) с известными параметрами:  $A$  – амплитуда;  $f$  – частота следования импульсов;  $T = 1/f$  – период следования импульсов;  $f_u$  – частота импульса;  $T_u = 1/f_u$  – период импульса;  $T/T_u$  – скважность.

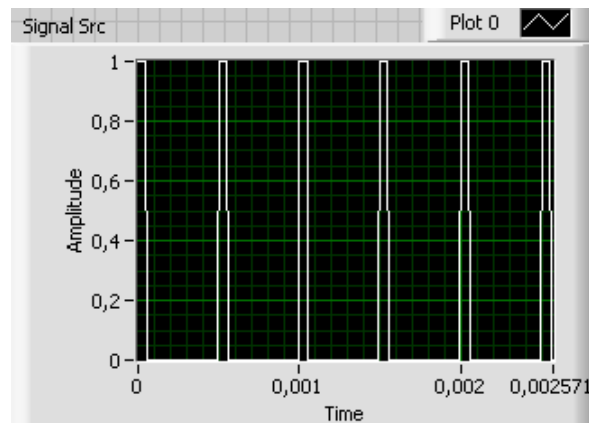


Рис. 3. Последовательность прямоугольных импульсов

Частота следования импульсов составляет 2 кГц, длительность импульса – 10 % его периода, т.е. 0,0001 с, амплитуда импульсов – 1 В, скважность – 10. В качестве шумового сигнала приведем белый гауссовый шум.

Прямоугольные импульсы исходного сигнала смешивают с шумом в сумматоре 3 (см. рис. 2), при этом шумовой сигнал в сумматор 3 подают через полосовой фильтр 4, который ограничивает его полосу, таким образом можно ограничить мощность шума. Блок 3 смешивает исходный сигнал и шум путем их сложения, в результате получаем зашумленный сигнал, который представляет собой аддитивную смесь сигнала и шума. Зашумленный сигнал моделирует канал утечки информации. Блок 5 производит разделение сигнала на отрезки равной длины, принимают отрезки длительностью 1 с при длительности всего сигнала 25 с. Количество накоплений сигнала получаем равным 25 накоплениям.

На рисунке 4 проиллюстрирован спектр зашумленного сигнала до накопления.

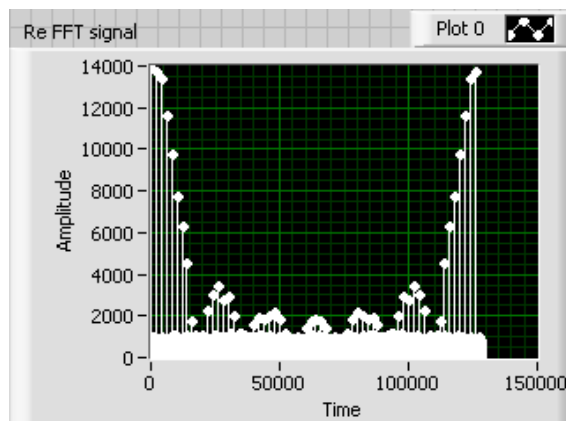


Рис. 4. Спектр зашумленного сигнала

Блок 6 производит преобразование Фурье зашумленного сигнала, получаем представление сигнала в частотной области. После накопления результатов Фурье-преобразования получаем спектр, показанный на рисунке 5.

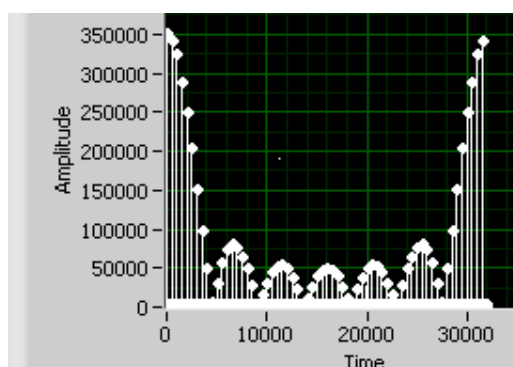


Рис. 5. Спектр зашумленного сигнала после накопления

Блок 7 выделяет спектр амплитуд зашумленного сигнала. По спектру амплитуд определяем гармонику с наибольшей амплитудой. Спектр показывает, что будет выделена гармоника частотой 2000 Гц. За оценку периода обнаруженной импульсной последовательности принимаем частоту гармоники спектра амплитуд с наибольшей амплитудой, выделение этой гармоники происходит в блоке 8. Этот параметр носит информативный характер, при правильном обнаружении данная частота будет соответствовать исходной  $f$ . Блок 9 производит фильтрацию спектра, обнуляя составляющие, не кратные основной частоте следования импульсов  $f$  (значение этой частоты принимают из априорных данных сигнала). Кратность частот определяем по формуле:

$$f_k = f \cdot k,$$

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

Сигналы незначительно отличаются после фильтрации амплитудами и смещением на постоянную составляющую. Блок 10 выполняет обратное дискретное преобразование Фурье, результат преобразования представляет рисунок 6.

Если сравнить исходный сигнал и сигнал после обратного дискретного преобразования Фурье, видно, что сигнал восстановлен с некоторыми искажениями по форме, однако значительно отличается от зашумленного сигнала. Блок 11 представляет зашумленный сигнал во временной форме. Блок 12 производит преобразование Фурье исходной последовательности импульсов. Блок 13 удаляет из спектра исходного сигнала постоянную составляющую. Блок 15 служит для сравнения сигналов и принятия решения о выделении сигнала из шума о соответствии полученного сигнала исходному, может быть выполнен в виде взаимно корреляционного и порогового устройства. В блок сравнения подаются сигналы, и блок принимает решение о соответствии сигнала исходному. Соответствие сигнала исходному определяют с

помощью оптимального приема и порогового детектирования, выбор порога осуществляется по известным критериям оптимальности решений в задачах обнаружения сигналов [5, с. 33]. За оценку частоты следования импульсной последовательности принимают значение, которое получено в блоке 8, равное 2000 Гц, что соответствует исходному сгенерированному значению.

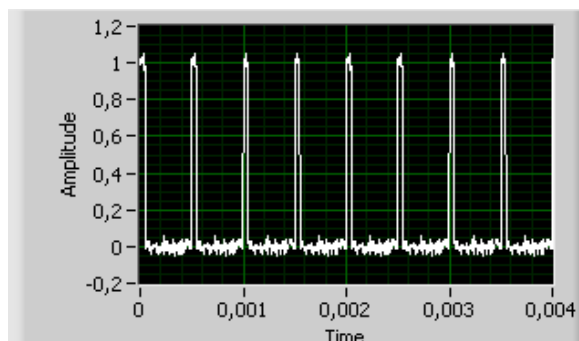


Рис. 6. Импульсная последовательность после ОДФФ

**Заключение.** Исследовано обнаружение периодических импульсных последовательностей и импульсов синхронизации в шумах высокого уровня при воздействии различных помех и выделение их из аддитивной смеси с шумом. Показана возможность обнаружения периодических импульсных последовательностей из шумов, что позволяет производить оценку параметров последовательности, восстанавливать исходные, зашумленные импульсы, принимать решение о соответствии восстановленного сигнала исходному сигналу.

Обнаружение и выделение периодических импульсных последовательностей позволяет проводить дальнейшую обработку видеосигнала с целью выделения информационной составляющей, речевой информации в цифровой форме.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр; пер. с англ. – 2-е изд., испр. – М.: Издат. Дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
2. Пескин, А.Е. Мировое вещательное телевидение. Стандарты и системы: справочник / А.Е. Пескин, В.Ф. Труфанов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 308 с.
3. Лезин, Ю.С. Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов / Ю.С. Лезин. – М.: Сов. радио, 1969. – 320 с.
4. Патент Российской Федерации 2251704, МПК G01R23/02; опубл. 10.05.2005.
5. Помехоустойчивость информационных радиосистем управления: учеб. пособие / А.Г. Охонский [и др.]. – М.: МГАП «Мир книги», 1993. – 216 с.
6. Денисенко, А.Н. Статистическая теория радиотехнических систем / А.Н. Денисенко. – М.: АРИ, 2007. – 200 с.
7. Тихонов, В.И. Выбросы случайных процессов / В.И. Тихонов. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1970. – 392 с.

Поступила 02.03.2012

#### DETECTION OF PERIODIC PULSE SEQUENCES AND THEIR ESTIMATION PERIOD

V. ZHELEZNYAK, A. BARKOV

*We consider the detection of periodic pulse sequences and estimation of their time in the channel information leakage. The objective is to allocate a periodic pulse sequence of high-level noise. Detection of a pulse sequence is provided in the additive mixture. The experiments were carried out simulations of the periodic pulse sequence with the addition of additive noise, such as white noise, the chaotic pulse train, a telegraph signal solution of the problem based on Fourier transform and prior information about the features of the spectrum of periodic pulse sequences. Comparison and evaluation of the detection is carried out with the best reception and detection threshold, the choice of threshold is carried out by the known criteria for optimal solutions in problems of signal detection.*