

С. В. Дворников¹, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры,
С. С. Манаенко¹, канд. техн. наук, ст. препод., **С. С. Дворников**², бакалавр, студент магистратуры,
¹ Военная академия связи
² Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
 e-mail: practicdsv@yandex.ru

Параметрическая мимикрия сигналов, модулированных колебаниями и сформированных в различных функциональных базисах

Представляются материалы исследования явления параметрической скрытности радиосигналов с позиций определения параметров, существенных для их последующей обработки. Рассматривается параметрическая скрытность сигналов, модулированных синфазными фрагментами гармоник и вейвлета Гаусса первого порядка равной длительности. Анализируются результаты компьютерного моделирования.

Ключевые слова: параметрическая скрытность, вейвлет Гаусса первого порядка, демодуляция сигналов, фазовая манипуляция

Введение

Обеспечение информационной безопасности является ключевым моментом при разработке информационных радиотехнических систем (ИРТС). Как правило, решение данного вопроса связывают с применением систем криптографической защиты, обеспечивающих гарантируемую конфиденциальность доступа к передаваемой информации. Однако такой подход наделяет ИРТС специфическим набором признаков, раскрывающих факт использования указанных мер защиты. В результате в ходе информационного противостояния для противостоящей системы открывается возможность первоочередного выявления ИРТС, защищенных криптосистемами, и при необходимости применения деструктивных методов воздействия.

Таким образом, поиск путей обеспечения информационной безопасности остается актуальной и значимой задачей при проектировании и эксплуатации ИРТС.

Именно поэтому в настоящей статье рассматриваются подходы к решению данных вопросов с позиций обеспечения структурной скрытности сигналов, используемых для передачи информации в ИРТС.

Физическая сущность структурной скрытности

Под понятием скрытности сигналов понимают свойства, затрудняющие эффективную реализацию процедур обнаружения сигналов и измерения их параметров в целях последующего извлечения вложенной информации.

Следовательно, скрытность сигнала во многом определяет и скрытность ИРТС как таковой. Вместе с тем, согласно [1], скрытность сигналов подразделяют на энергетическую, структурную и информационную (в ряде случаев оперируют понятием времен-

ной скрытности). Рассмотрим кратко подходы к их реализации в ИРТС.

Энергетическая скрытность предполагает создание условий, при которых реализация процедур обнаружения самого факта работы ИРТС будет связана с определенными трудностями.

Информационная скрытность базируется на специфических методах кодирования сообщений как на битовом уровне, так и на уровне семантики.

Структурная скрытность в общем случае характеризует способность ИРТС противостоять мерам, направленным на выявление параметров сигнала, существенных для его последующей обработки. Другими словами, структурная скрытность предполагает, что обнаруженный сигнал будет в полной мере отождествлен с одним из множества априорно известных сигналов (эталонов).

Временная скрытность представляет совокупность мер, обеспечивающих несовпадение интервала функционирования ИРТС и времени, в пределах которого осуществляется применение процедур несанкционированного доступа к информации, передаваемой в ней.

Следует отметить, что преодоление одной из видов скрытностей еще не гарантирует доступ к информации, содержащейся в сигнале.

В последнее время особое внимание уделяется вопросам обеспечения структурной скрытности. Прежде всего это связано с тем, что технологии реализации временной и энергетической скрытностей приводят к ухудшению электромагнитной доступности корреспондентов ИРТС, а признаки информационной скрытности провоцируют к применению средств деструктивного воздействия, что в целом является нежелательным моментом.

Именно поэтому методология обеспечения структурной скрытности сигналов видится предпочтительной.

В общем случае структурная скрытность зависит от способа синтеза конкретного вида сигнала. В частности, в работе [2] предлагается структуру сигнала видоизменять посредством наложения псевдослучайных последовательностей (ПСП) на каждый информационный бит. Однако такой подход не решает проблемы доступа к информации как таковой. Ограниченность длительности ПСП, накладываемой на бит, приводит к тому, что путем простого перебора возможно определить порядок следования в ней нулей и единиц. В работе [3] рассматривается другой подход к обеспечению структурной скрытности сигналов, а именно — их синтез в базисах, отличных от используемых в системах анализа, осуществляющих несанкционированный доступ.

В частности, авторами предлагается формировать сигналы в базисах функций сплайн-Вилленкина — Крестенсона, которые являются обобщающими по отношению к гармоническим функциям базиса Фурье. Но главное достоинство этих функций в том, что сформированный на их основе сигнал имеет все внешние признаки модулированного колебания, синтезированного в гармоническом базисе. Однако последующий анализ такого сигнала методами, ба-

зирующимися на реализацию процедур преобразования Фурье, не позволит получить значение его истинных параметров и как результат — правильно его демодулировать (извлечь вложенную в него информацию).

Рассмотренный подход к обеспечению структурной скрытности аналогичен явлению мимикрии в живой природе, поэтому скрытность, которая проявляется в результате неправильного выбора базиса анализа, определим как *параметрическую мимикрию*.

Результаты эксперимента по анализу сигналов, модулированных фрагментами колебаний, синтезированных в различных базисах

Был проведен эксперимент в предположении того, что близость структур колебаний, сформированных в различных базисах, определяет уровень параметрической мимикрии сигнала, представляющего их симбиоз, при его анализе только в одном из базисов.

В ходе эксперимента, основываясь на данном предположении, в качестве колебаний с близкой временной структурой были определены фрагменты синусоиды $s(t)$ (рис. 1, *a*) и так называемого вейвлета Гаусса $\psi(t)$ первого порядка, представляющего первую производную от функции Гаусса (далее по тексту вейвлет) (рис. 2, *a*) [4].

Однако несмотря на кажущуюся близость $s(t)$ и $\psi(t)$ во временной области, спектры указанных фрагментов принципиально различны. Так, на рис. 1, *b* показан спектр синусоиды $S(f)$, а на рис. 2, *b* — спектр вейвлета $\Psi(f)$ при условии равной длительности их фрагментов во временной области.

Следовательно, для отдельных фрагментов параметрическая мимикрия в спектральной области не наблюдается.

Затем, в соответствии с замыслом эксперимента, произвольным образом была выбрана последовательность 1011010110110101 и на ее основе синтезировался сигнал $z(t)$ (рис. 3), в котором значения единицы кодировались фрагментами функцией $\psi(t)$, а нуля — $s(t)$.

Анализ полученных результатов показал, что сигнал $z(t)$ не только во временной области похож на гармонику (один период на длительности информационной посылки), но и в частотном пространстве его спектр $Z(f)$ (рис. 4, *a*) напоминает спектр

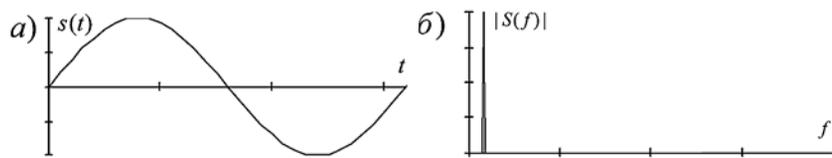


Рис. 1. Представление отрезка синусоиды: *a* — во временной области; *b* — в частотной

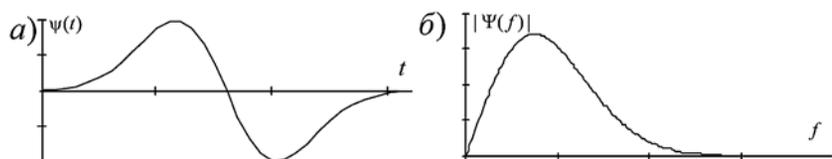


Рис. 2. Представление вейвлета: *a* — во временной области; *b* — в частотной

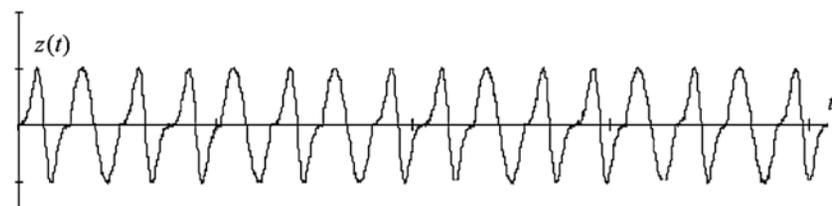


Рис. 3. Сигнал, модулированный фрагментами синусоиды и вейвлета

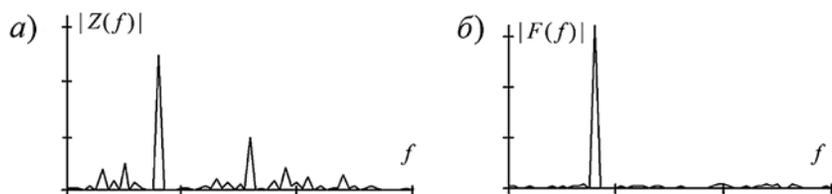


Рис. 4. Спектр: *a* — модулированного сигнала $z(t)$; *b* — гармоники

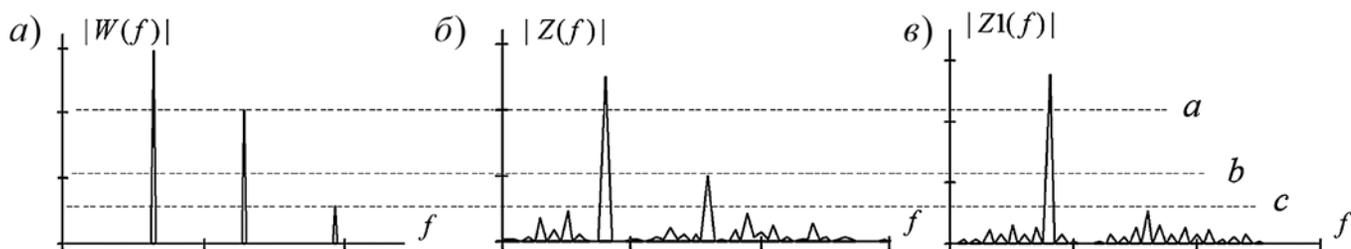


Рис. 5. Спектр сигнала:

a — состоящего только из фрагментов вейвлетов; b — сигнала $z(t)$; c — сигнала $z_1(t)$, в котором фрагментов вейвлетов в 2 раза меньше, чем в сигнале $z(t)$

гармонического колебания (рис. 4, б). Указанный эффект проявляется при условии анализа в базисе функций Фурье (на рис. 4 оси координат представлены в относительных единицах, позволяющих оценить соотношения амплитудных значений спектральных составляющих между собой).

Очевидно, что не только визуальный, но и слуховой анализ не позволит однозначно идентифицировать сигнал $z(t)$, поскольку по своей структуре он похож на зашумленную гармонику.

Чтобы понять природу параметрической мимикрии, проанализируем свойства сигнала $w(t)$, содержащего только фрагменты вейвлетов той же длительности, что и $z(t)$. Спектр $W(f)$ сигнала $w(t)$ представлен на рис. 5, а.

Визуальный анализ $W(f)$ показывает, что он по своей структуре соответствует спектру периодической импульсной последовательности. Указанный эффект обусловлен тем, что по своей конструкции вейвлет фактически представляет локализованный во времени импульс. Поэтому в базисе экспоненциальных функций спектр $w(t)$ будет соответствовать спектру последовательности импульсов, что и подтверждается результатом на рис. 5, а.

С других позиций синтез сигнала $z(t)$ можно интерпретировать как замену в гармоническом колебании отдельных фрагментов синусоиды на вейвлеты. А учитывая случайный характер следования информационных битов, у результирующего сигнала $z(t)$ наблюдается ослабление свойств периодичности по отношению к сигналу $w(t)$, состоящему только из "импульсных" фрагментов вейвлетов. В результате и в спектре сигнала $z(t)$ наблюдается ослабление частотных составляющих, соответствующих периодичности (на рис. 5, б спектр соответствует спектру, показанному на рис. 4, а, и размещен в целях демонстрации различия уровней спектральных составляющих).

В подтверждение данного предположения на рис. 5, в показан спектр сигнала $z_1(t)$, в котором фрагментов, содержащих вейвлеты, в 2 раза меньше, чем в $z(t)$ при сохранении общего числа информационных битов (1001010100010100). Анализ его спектра $Z_1(f)$ показывает, что уровень соответствующих частотных составляющих (отвечающих за периодичность) при этом еще больше уменьшился.

На рис. 5 показаны линии a , b , c , соответствующие уровню второй гармоники спектров сигналов $w(t)$, $z(t)$, $z_1(t)$.

Таким образом, можно сделать заключение, что параметрическая мимикрия усиливается с увеличением соотношения числа фрагментов $s(t)$ к $\psi(t)$, входящих в состав $z(t)$.

Свойства параметрической мимикрии особенно ярко проявляются в условиях применения методов селективной фильтрации со стороны системы анализа. Действительно, учитывая визуальную похожесть спектра сигнала $z(t)$ со спектром зашумленной гармоники, невольно напрашивается применение согласованной фильтрации, которая в итоге полностью выхлостит сигнал до уровня синусоидального колебания. В результате этого произойдет усиление эффекта первичного заблуждения относительно предположения о структуре обрабатываемого излучения.

Следует отметить, что анализ сигнала $z(t)$ в базисе вейвлетов также не позволит однозначно определить его структуру. В этом случае основная локализация плотности энергии будет наблюдаться в доменах (фрагмент пространства, ограниченный значениями определенного временного сдвига и заданного масштаба частоты [4]), структурно соответствующих фрагментам $\psi(t)$, что способствует ошибочному отнесению $z(t)$ к сигналу, состоящему только из фрагментов вейвлетов.

Предложения по демодуляции сигналов, синтезированных из фрагментов колебаний различных базисов

Рассматриваемые сигналы, модулированные колебаниями, синтезированными в различных функциональных базисах, способны переносить информацию, причем информационное содержание отражает структурное различие фрагментов $s(t)$ и $\psi(t)$.

Очевидно, что практический интерес указанные сигналы будут представлять только в том случае, если разработанные для них способы демодуляции обеспечат достоверное извлечение информации при отношении сигнал/шум (ОСШ) в канале порядка 12 дБ.

Согласно [5] основной задачей процедур демодуляции является создание условий, при которых обеспечивается контрастное разделение энергии сигнала в соответствии с его информационным наполнением.

В связи с этим предлагается следующий подход к реализации процедур демодуляции (рис. 6).

Предложенный подход исходит из условия того, что при тактовой синхронизации разностный сигнал

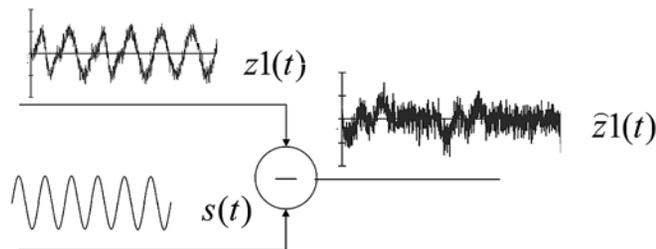


Рис. 6. Принцип демодуляции сигналов, сформированных на основе фрагментов, синтезированных в разных функциональных базисах

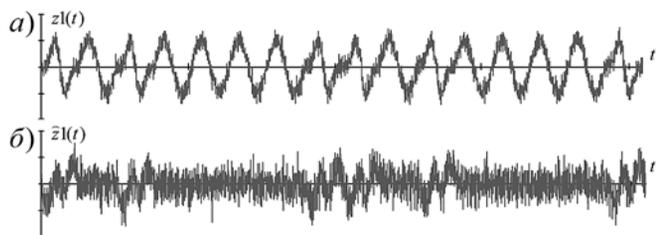


Рис. 7. Представление: а — зашумленного сигнала $z_1(t)$; б — разностного сигнала $\hat{z}_1(t)$

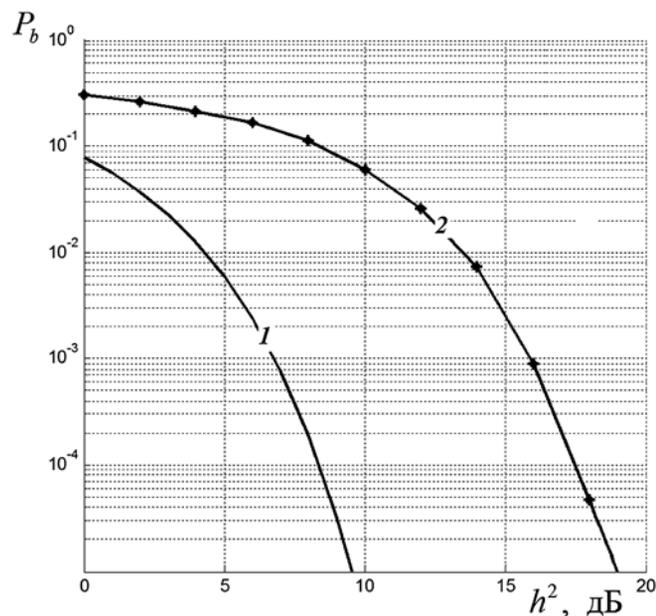


Рис. 8. Зависимость вероятности битовой ошибки P_b от значения ОСШ h^2 : 1 — для сигнала двухпозиционной фазовой манипуляции; 2 — для сигнала с параметрической скрытностью

$\hat{z}_1(t) = z_1(t) - s(t)$ обращается в нуль на длительностях фрагментов, модулированных синусоидами. В подтверждение данного заключения на рис. 7 показаны фрагменты сигналов в шумах (ОСШ порядка 15 дБ), где на рис. 7, а — зашумленный сигнал $z_1(t)$, а на рис. 7, б — сигнал разности $\hat{z}_1(t)$ зашумленного сигнала $z_1(t)$ и эталонного колебания $s(t)$ той же длительности.

Анализ результатов, представленных на рис. 7, б показал, что структурные особенности сигнала $\hat{z}_1(t)$, существенные для принятия решения при демодуляции, проявляются в позициях, соответствующих логическим единицам, т. е. модулированным фрагментами вейвлетов $w(t)$. В частности, в качестве порога целесообразно определить средний уровень энергии на длительности логического элемента. На рис. 8 показаны графики, характеризующие помехоустойчивость сигналов, обладающих параметрической скрытностью.

На рис. 8 кривая 1 — это зависимость вероятности битовой ошибки P_b от значения ОСШ h^2 для сигнала двухпозиционной фазовой манипуляции (ФМ-2), а кривая 2 — для сигнала с параметрической скрытностью.

Анализ результатов (моделирование проводилось в среде MATLAB) показывает, что сигналы с параметрической скрытностью уступают сигналам ФМ-2 на 8...9 дБ. Однако на уровне 16 дБ уже обеспечивается приемлемое качество приема сигналов с параметрической скрытностью, что говорит о возможности их практического применения.

Следует отметить, что если при вычислении $\hat{z}_1(t)$ в качестве разностного использовать сигнал $w(t)$, то аналогичные структурные различия (см. рис. 7) будут проявляться в позициях, соответствующих логическому нулю.

Таким образом, обработку сигналов с параметрической скрытностью можно проводить как в базисах гармонических функций, так и в базисах вейвлетов.

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующее заключение. Наряду с традиционными подходами повышение структурной скрытности возможно за счет использования эффекта параметрической скрытности, который возникает при анализе сигналов, сформированных из колебаний различных функциональных базисов, только в одном из базисов.

Авторы предполагают, что указанный эффект может усилиться с увеличением числа используемых базисов.

Сложность обработки таких сигналов обуславливается отсутствием априорной информации.

Дальнейшие исследования видятся в разработке эффективных методов демодуляции рассматриваемых сигналов.

Авторы выражают благодарность действительно члену академии МААНО профессору Чернолесу Владимиру Петровичу за мотивацию и поддержку проводимых исследований.

Список литературы

1. Каневский З. М., Литвиненко В. П. Теория скрытности. Воронеж: ВГУ, 1991. 144 с.

2. Корчинский В. В. Метод повышения структурной скрытности передачи информации в системе связи многопользовательского доступа // Технологический аудит и резервы производства. 2013. № 3/1 (11). С. 20–23.

3. Агиевич С. Н., Дворников С. В., Гусельников А. С. и др. Описание сигналов в базисах функций сплайн-Вилленкина — Крестенсона // Контроль—Диагностика. 2009. № 3. С. 52–57.

4. Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразования: учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. 104 с.

5. Прокис Дж. Цифровая связь: Пер. с англ. / Под ред. Д. Д. Кловского. М.: Радио и связь. 2000. 800 с.

S. V. Dvornikov¹, Professor, S. S. Manaenko¹, Associate Professor,
S. S. Dvornikov², Student, e-mail: practicsdv@yandex.ru,
¹ Military Communications Academy, St. Petersburg
² St. Petersburg State Polytechnical University

Parametric Mimicry Signals Modulated Oscillations Formed in Various Functional Basis

Information security issues associated with the use of cryptographic systems of protection. However, this approach gives information systems specific set of features that reveal the fact that the use of these measures. Therefore, finding ways to ensure information security remains an urgent and important task in the design and operation of data transmission systems.

Under the concept of stealth signals understand the properties that impede the effective implementation of the procedures for their detection and measurement in order to retrieve the embedded information.

Stealth signals are divided into energy, and structural information. Energy secrecy involves the creation of conditions under which the implementation of procedures for detecting the very fact of communication tools. Concealment information encoding methods based on messages as at the bit level and at the level semantics. Structural secrecy characterizes the ability of signals to resist measures aimed at identifying their parameters.

In the recent attention paid to ensuring the structural stealth. This is due to the fact that the technology implementation time and energy electromagnetic stealth impair the availability of correspondents, and informational signs stealth provoke the use of means jamming.

An approach to providing structural stealth signals by their synthesis in bases other than those used in systems analysis, offering unauthorized access. The advantage of these features is that formed on the basis of the signal is all external signs of the modulated oscillation synthesized harmonic basis.

Such an approach to structural stealth similar phenomenon of mimicry in nature, so stealth, which manifests itself in the wrong choice of the basis of analysis, defined as parametric mimicry. As oscillations with close temporal structure of the proposed fragments sinusoid and Gaussian wavelet of the first order, which represents the first derivative of the Gaussian function.

The signals thus generated in the time and frequency domains resemble harmonics. Visual and auditory analysis does not identify the signal as it is similar to the noisy harmonic signal.

Parametric mimicry increases with increasing ratio of the number of fragments to fragments harmonic wavelets. Practical interest such signals will be represented only if they developed to provide reliable demodulation techniques to extract information for the signal/noise ratio of the order of 15 dB.

Along with the traditional approaches, increasing structural stealth possible through the use of parametric stealth effect, which occurs when analyzing the signals generated from the vibrations of different functional bases, only one of the bases.

The authors suggest that this effect may be enhanced with the increase in the number of bases used.

Keywords: parametric stealth, Gauss wavelet first order, demodulation, phase shift keying

References

1. Kanevskij Z. M., Litvinenko V. P. *Teorija skrytnosti*. Voronezh.: VGU, 1991. 144 p.

2. Korchinskij V. V. Metod povyshenija strukturnoj skrytnosti peredachi informacii v sisteme svjazi mnogoporzovatel'skogo dostupa. *Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva*. 2013. N. 3/1 (11). P. 20–23.

3. Agievich S. N., Dvornikov S. V., Gusel'nikov A. S. i dr. Opisanie signalov v bazisah funkcij splajn-Vilenkina — Krestenсона. *Kontrol'—Dagnostika*. 2009. N. 3. P. 52–57.

4. Jakovlev A. N. *Vvedenie v veyvlet-preobrazovanija: ucheb. posobie*. Novosibirsk: Izdatel'stvo NGTU, 2003. 104 p.

5. Prokis D. *Cifrovaja svjaz*. Per. s angl. Pod red. D. D. Klovskogo. M.: Radio i svjaz'.