

МОДЕЛЮВАННЯ СИГНАЛІВ ЗАСОБІВ НЕГЛАСНОГО ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЛАЙН-ФУНКЦІЙ

У статті розглянуто проблему розпізнавання сигналів від систем несанкціонованого прихованого отримання конфіденційної інформації. Загальна проблема виявлення сигналів від засобів негласного отримання інформації (ЗНОІ) полягає в безпосередньому формуванні методики, яка б дозволила подати виявлений сигнал від ЗНОІ, що використовує легальний діапазон передачі даних, в його в аналітичному представленні, зручному для подальшого аналізу та безпосереднього виявлення шкідливого сигналу. Проведено аналіз означення, ознак та властивостей засобів негласного отримання інформації та подано їх демаскуючі ознак. Проведено огляд методів, які використовуються для фіксування виявлених сигналів від засобів негласного отримання інформації в аналітичному виді, зручному для подальшого аналізу. Проведено аналіз способів аналітичного представлення виявленого сигналу у виді композиції неперервних функцій та у вигляді сплайн-функції двох змінних. З метою підвищення ефективності розпізнавання сигналів засобів негласного отримання інформації запропоновано методику побудови сигналу ЗНОІ у виді двовимірної сплайн-функції або тензорного добутку двох одновимірних сплайн просторів. Такий спосіб дозволяє покращити ефективність розпізнавання сигналів ЗНОІ та його автоматизацію. Показано, що важливою умовою для розпізнавання ймовірного сигналу цифрової ЗНОІ є знаходження максимуму енергії спектру, що в свою чергу надає можливість застосовувати критерії математичного аналізу досягнення екстремумів функції. Застосування такого математичного апарату надає можливість, використовуючи існуючі технічні і програмних комплекси, автоматизувати процес розпізнавання сигналів ЗНОІ.

Ключові слова: інформація, безпека інформації, технічні засоби негласного отримання інформації, закладний пристрій, композиція функцій, двовимірна сплайн-функція, простір сплайнів, тензорний добуток.

Вступ

Сучасний світ інформації є постійним полем взаємодії засобів негласного отримання інформації (ЗНОІ) та засобів і методів їх розпізнавання. Задача виявлення та розпізнавання ЗНОІ із розвитком технологій та постійного їх вдосконалення з плином часу стає щораз складнішою. У роботах [1, 2] визначено, що засоби негласного отримання інформації або закладні пристрої (ЗП) («закладки») – це таємно встановлені технічні пристрої, призначені для негласного (прихованого) знімання наступних видів інформації: акустичної (голосової) інформації в приміщеннях; відеоінформації в приміщеннях; телефонних переговорів; інформації, що обробляється в спеціальних технічних засобах; комп'ютерних мережах, факсах, ксероксах і ін.

Закладні пристрої можна класифікувати за кількома ознаками: за методом знімання інформації; за діапазоном частоти каналу передачі; за видом електроживлення; за режимом роботи в контрольований момент часу; за типом активізації (включення) в роботу; по використовуваному каналу передачі інформації. Широкий спектр принципів дій, використовуваних методів і технологій знімання і передачі інформації зумовив значне число різномірних ознак, за якими можна виявити ЗНОІ. Сутність пошуку ЗНОІ полягає в виявленні, розпізнаванні демаскуючих ознак по сигналам від вказаних пристроїв та їх подальша локалізації. Демаскуючі ознаки, які притаманні практично всім заставним пристроям: 1) випромінюються електромагнітні поля радіочастотного каналу передачі; 2) інформаційні сигнали в провідних комунікаціях; 4) інфрачервоне випромінювання, модульоване голосовим сигналом; 5) наявність напівпровідникових приладів у пасивних ЗП, що дають відгук на зондуєчий високочастотний сигнал; 6) демаскуючі ознаки, що визначаються візуальним шляхом.

Всі згадані ознаки можуть бути використані для розпізнавання ЗНОІ. В процесі такого розпізнавання, в ході виділення шкідливого сигналу постає завдання його подання в аналітичному вигляді. Для цього використовують різні способи представлення сигналу. Загальний вид сигналу ЗНОІ зручно подавати у вигляді складеної функції, що зумовлено

різноманітними методами його приховування. На ряду з цим, також існують різні чинники, які заважають якісно провести як збір та аналіз інформації про наявність в контрольованій зоні функціонуючого ЗНОІ так і встановити параметри такого сигналу. Одним із таких чинників є проблема застосування ЗНОІ, які використовують легальні діапазони поширення інформації [1, 2]. Ці обставини формують наукову задачу щодо розробки та удосконалення методів, моделей та алгоритмів виявлення сигналів прихованого отримання інформації в легальному діапазоні передачі даних.

Постановка проблеми

Загальна проблема виявлення сигналів від засобів негласного отримання інформації полягає в безпосередньому формуванні методики, яка б дозволила подати виявлений сигнал від ЗНОІ, що використовує легальний діапазон передачі даних, в його в аналітичному представленні, зручному для подальшого аналізу та безпосереднього виявлення шкідливого сигналу. Формування такої методики розпочинається з вибору початкових даних сигналу від ЗНОІ. В свою чергу, для вибору початкових даних методики розпізнавання засобів негласного отримання інформації, потрібно виявити та встановити властивості та ознаки функціонування засобів негласного отримання інформації. Існуючі методи розпізнавання сигналів від ЗНОІ мають свої переваги та недоліки. Їх розробці та аналізу присвячено ряд робіт.

Аналіз літературних джерел та постановка задачі

У роботах [1, 2] розглядаючи процес пошуку ЗНОІ як сукупність дій по виявленню, розпізнаванню та локалізації ЗНОІ. Акцентовано увагу, що важливим елементом виявлення ЗНОІ є математичний апарат, який дозволяє перетворити отриманий від них сигнал у зручний для подальшого аналізу вигляд. Важливим є також встановлення параметри сигналу, за якими проводиться процес розпізнавання. Безпосереднє питання розробки та подання сигналу від ЗНОІ в аналітичному вигляді в даній роботі не розглядається.

У статті [3] розглянуто процес розпізнавання випадкового цифрового сигналу на основі отриманих параметрів у процесі його виявлення. При введеному в статті припущенні – «співвідношення сигнал-шум невелике» сигнал аналізується у вигляді: сигнал; сигнал + шум; сигналу латентного періоду.

Завдання локалізації сигналу вирішується за допомогою оптимального лінійного фільтра, який пригнічує спектральні компоненти шуму і виділяє сигнал ЗНОІ. При цьому аналітичне подання сигналу від ЗНОІ в даній роботі відсутнє. В роботі [4] сигнал від ЗНОІ розглядається при умові, що його характеристика частоти близька до спектра сигналу. При цьому в поданий в роботі аналітичний вираз такого сигналу входить комплексно-поєднане значення спектральної амплітуди. Оцінка параметрів прихованих періодів здійснюється з допомогою кореляційних функцій, кінцевих функцій, кінцевих різниць і методами Брунса, Кюнена, Лагранжа. В свою чергу, аналітичний вираз самого сигналу від ЗНОІ в закінченому вигляді в даній статті не представлено.

Мета статі – підвищення ефективності розпізнавання сигналів від засобів негласного отримання інформації на основі розробки методики подання сигналу в вигляді аналітичного представлення.

Методика представлення сигналів засобів негласного отримання інформації сигналів на основі сплайн-функцій.

У літературі [3] розглядається регулярний сигнал, який діє систему:

$$S(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_0(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (1)$$

з довільним спектром, миттєвою інтенсивністю $I_0(t) = S^2(t)$ та енергією

$$Q(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} I_0(t) dt = 2\pi \int_{-\infty}^{+\infty} |S_0(\omega)|^2 d\omega. \quad (2)$$

Розглядається, що разом з сигналом $S(t)$ на вхід надходить стаціонарний шум з нульовим середнім значенням і спектральною щільністю $G(\omega)$. Передавальна функція $K(\omega)$ оптимального фільтра буде описуватися виразом:

$$K(\omega) = S_0(-\omega)e^{-i\omega t_0} \quad (3)$$

де t_0 – довільна постійна.

Відомо, що довільна раціональна функція декількох змінних може бути записана у виді композиції чотирьох арифметичних дій: додавання, віднімання, множення і ділення, композицією функцій та зберігає властивості функцій, композицією яких вона є.

У роботі [5] показано, що будь-яка визначена на n -мірному кубі ($n > 3$) неперервна функція може бути представлена композицією неперервних функцій трьох змінних, а потім Арнольд В. І. показав, що кількість вона може бути композицією неперервних функцій двох змінних до двох. [6, 7]. Встановлено, що будь-яка неперервна функція n змінних може бути отримана за допомогою композиції неперервних функцій однієї змінної та єдиною функцією двох змінних $g(x, y) = x + y$. Вище згадане твердження дозволяє представити будь-яку функцію f , неперервну на n -мірному кубі, у вигляді:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^{2n+1} h_i \left(\sum_{j=1}^n \varphi_{ij}(x_j) \right) \quad (4)$$

де функції h_i та φ_{ij} неперервні, функція φ_{ij} стандартна та не залежить від вибору функції f .

Такий спосіб запису дає можливість представити сигнал ЗНОІ у виді, який можна швидко опрацьовувати та досліджувати.

Іншим методом представлення сигналу є задання його у вигляді сплайн-функції двох змінних [8, 9, 10]. Двовимірний сплайн-функція, зібрана зі шматків двовимірних алгебраїчних многочленів. Різні узагальнення сплайн-функції від багатьох змінних характеризуються двома ознаками: формою заданої області та визначення простору сплайнів. Розглянемо прямокутну область Ω , так, що $x \in [a; b]$, $y \in [c; d]$, та введемо в ній прямокутну сітку виду:

$$\Delta = \Delta_x \times \Delta_y \quad (5)$$

де: $\Delta_x: a = x_0 < x_1 < \dots < x_N = b$ та $\Delta_y: c = y_0 < y_1 < \dots < y_M = d$, що розбиває область Ω на прямокутні області виду:

$$\Omega_{ij} = \{(x; y) | x \in [x_i; x_{i+1}], y \in [y_j; y_{j+1}]\}, \quad (6)$$

де $i = 0, \dots, N-1; j = 0, \dots, M-1$.

Для цілих $k \geq 0$ та $l \geq 0$ позначимо як $C^{k,l}[\Omega]$ множину неперервних на прямокутній області Ω множини функцій $f(x, y)$, що мають частинні похідні другого порядку у кожному із прямокутників сітки. Позначимо як $C^{-1,-1}[\Omega]$ множину частково-неперервних функцій з розривами першого роду на деяких замкнутих лініях, які можуть містити межі області.

Функцію $S_{n,m,v,\mu}(x, y)$ називатимемо сплайном від двох змінних степеня n дефекту v ($0 \leq v \leq n + 1$) за змінною x та степеня m дефекту μ ($0 \leq \mu \leq m + 1$) за змінною y із лініями склейки на сітці Δ , якщо:

1) У кожній прямокутній області Ω_{ij} маємо, що функція сплайну має вид:

$$S_{n,m,v,\mu}(x, y) = \sum_{\alpha=1}^n \sum_{\beta=1}^m a_{\alpha\beta}^{ij} (x - x_i)^\alpha (y - y_j)^\beta, \quad (7)$$

де $i = 0, \dots, N-1$; $j = 0, \dots, M-1$;

2) Функція сплайну така, що $S_{n,m,\nu,\mu}(x, y) \in C^{n-\nu, m-\mu}[\Omega]$.

У випадку, коли задані два простори сплайнів від однієї змінної: $S_{n,\nu}(\Delta_x)$ та $S_{m,\mu}(\Delta_y)$, тоді справедлива наступна твердження [8,9,10]:

Твердження: Простір сплайнів двох змінних збігається з тензорним добутком двох просторів сплайнів однієї змінної.

$$S_{n,m,\nu,\mu}(x, y) = S_{n,\nu}(\Delta_x) \otimes S_{m,\mu}(\Delta_y), \quad (8)$$

де \otimes - знак тензорного добутку,

З огляду на попередні дані ми можемо проводити розпізнавання виділеного сигналу ЗНОІ у вигляді складеної функції, сплайн-функції двох змінних, яка зводиться в кінцевому підсумку до тензорного добутку двох просторів однієї змінної, що спрощує завдання допомагає проведенню математичного аналізу функцій виділеного сигналу.

Для розв'язання завдання розпізнавання цифрового сигналу використовуватимемо метод послідовних наближень та метод послідовних витягів складових спектру. Врахувавши, що конструкція системи невідома, для аналізу параметрів випадкових сигналів у частотній області можна обчислити спектральну функцію, а для нею можемо побудувати опис згладжуючим сплайном $Y(\omega)$. Нехай ця невідома система описується деякою функцією $W(i\omega)$. Якщо на вхід системи подаємо ймовірний сигнал, то зі спектром $S_g(\omega_k)$, то після проходження через систему отримуємо сигнал $S(\omega)$.

Тепер наше завдання зводиться до апроксимації невідомої функції $W(i\omega)$ у базисі функцій другого порядку, виду:

$$W_i(p) = \frac{c_i(a_i+p)}{\beta_i^2 + p^2 + 2p\alpha_i + \alpha_i^2}, \quad (9)$$

де c_i – коефіцієнт затухання;

α_i – ступінь затухання;

β_i – резонансна частота.

Для визначення елементів функції $W(i\omega)$ та значень i -х параметрів α_{0i} та β_{0i} скористаємось методом послідовних вилучень інформативних складових у частотній області.

Фазу випадкового сигналу визначатимемо як:

$$\varphi_k = \arctg\left(\frac{b_k}{a_k}\right), 0 \leq \varphi_k \leq 2\pi, \quad (10)$$

де a_k – парна (дійсна) компонента, а b_k – непарна (уявна) компонента.

Виконуючи сплайн-моделювання у класі згладжувальних функцій за допомогою опису спектральних параметрів сплайн-функціями двох змінних опис спектральних параметрів у вигляді функції двох змінних $Y(\omega, t)$ для фіксованого інтервалу часу [8, 9, 10].

Повний опис спектрального зрізу у полосі частот від 0 до 8500 Гц для фіксованого інтервалу часу може бути реалізовано за допомогою моделі з вісьмома вузлами, яка може бути записана у виді виразу:

$$Y(\omega) = \frac{A_3(\omega-\Omega_0)^3 + A_2(\omega-\Omega_0)^2 + A_1(\omega-\Omega_0)^1 + A_0}{A_{33}(\omega-\Omega_8)^3 + A_{22}(\omega-\Omega_8)^2 + A_{11}(\omega-\Omega_8)^1 + A_{00}}, \quad (11)$$

де $\Omega_0 \leq \omega \leq \Omega_1$ та $\Omega_8 \leq \omega \leq \Omega_9$

При цьому загальний опис спектру та фази у виді сплайн-моделі матиме вид:

$$\begin{cases} Y_i \\ \varphi_i \end{cases} = \sum_{i=1}^n A_{j,n-p} (\omega - \Omega_i)^{n-p}, \quad (12)$$

де $\Omega_j \leq \omega \leq \Omega_{j+1}$ та $0 \leq j \leq m$

Спектральні та фазові функції, отримані після сплайн-моделювання добре корелюють із спектрами, що обчислюються для дуже коротких інтервалів часу. Схожі результати щодо фазочастотних характеристик можна бачити у літературі Хорошко В.О. [6, 7]. Реальний сигнал цифрового ЗНОІ знаходиться у тому ж діапазоні, що і легальні пристрої, розпізнати його можливо тільки за величиною енергії спектру та фази сигналу [3]. У цьому випадку важливою умовою для розпізнавання ймовірного сигналу цифрової ЗНОІ є знаходження максимуму енергії спектру. Для обчислення максимального значення сплайн-моделі визначатимемо похідну функцію частоти $\varphi(\omega)$, яку представимо у виді:

$$\varphi(\omega) = \sum_{i=0}^{n-1} (n-p) A_{j,n-p} (\omega - \Omega_j)^{n-p-1}. \quad (13)$$

Прирівнявши похідну $\varphi(\omega)$ у виді виразу (13) до нуля отримаємо такий результат:

$$\varphi'(\omega) = 3A_{j,3}(\omega - \Omega_j)^2 + 2A_{j,2}(\omega - \Omega_j) + A_{j,1} = 0. \quad (14)$$

Отримане квадратне рівняння, що залежить від $\omega - \Omega_j$, має розв'язок:

$$\omega - \Omega_j = \frac{-2 \pm \sqrt{4A_{j,2}^2 - 12A_{j,3}A_{j,1}}}{6A_{j,3}}. \quad (15)$$

Таким чином, між вузлами Ω_j можливо знайти точне положення екстремумів $Y_j(\omega)$, а положення екстремумів $\varphi_i(\omega)$, дозволить визначити динаміку сигналу.

Проаналізуємо отриманий результат графічно (рис. 1). Для цього обираємо два довільних набори параметрів сигналів для постійних складових та зобразимо їх на довільному інтервалі значення похідної фази сигналу функції. Графік на рис. 1 показує, що максимальне значення графіку, який зображений червоним, дорівнює 4 та є максимумом функції і відповідає критерію розпізнавання як сигнал ЗНОІ.

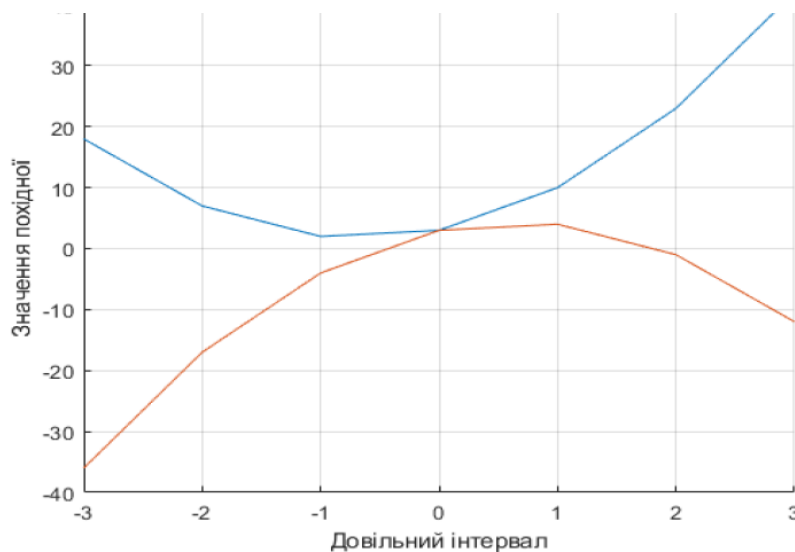


Рис. 1. Значення похідної фази сигналу функції

Найбільше ж значення графіка функції синього кольору на рисунку 1, на інтервалі $[-4;4]$, є більшим за 35, а тому він відповідає сигналу, який не буде сигналом ЗНОІ, так як це значення функції знаходиться поза межами інтервалу. Такий підхід, коли ми будемо функцію сигналу за допомогою сплайну, дозволяє покращити ефективність розпізнавання сигналів ЗНОІ, а також автоматизувати процес розпізнавання.

Висновки

У статті проведено аналіз ознак та властивостей засобів негласного отримання інформації та подано їх демаскуючі ознаки. Проведено огляд методів, які використовуються для фіксування виявлених сигналів від засобів негласного отримання інформації в аналітичному виді, зручному для подальшого аналізу. Проведено аналіз способів аналітичного представлення виявленого сигналу у виді композиції неперервних функцій та у вигляді сплайн-функції двох змінних. З метою підвищення ефективності розпізнавання сигналів засобів негласного отримання інформації запропоновано методіку побудови сигналу ЗНОІ у виді двовимірної сплайн-функції або тензорного добутку двох одновимірних сплайн просторів. Такий спосіб дозволяє покращити ефективність розпізнавання сигналів ЗНОІ та його автоматизацію. Показано, що важливою умовою для розпізнавання ймовірного сигналу цифрової ЗНОІ є знаходження максимуму енергії спектру, що в свою чергу надає можливість застосовувати критерії математичного аналізу досягнення екстремумів функції. Застосування такого математичного апарату надає можливість, використовуючи існуючі технічні і програмні комплекси, автоматизувати процес розпізнавання сигналів ЗНОІ.

Перелік посилань

1. ДСТУ 3396.2–97. Захист інформації. Технічний захист інформації. Терміни і визначення. Київ: Держстандарт України, 1998. 19 с
2. Клименко, К. О., Костенко, О. В., Ільченко, О. М. Загальна класифікація засобів негласного отримання інформації та методик їх виявлення. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. Радіотехніка та телекомунікації. Том 31 (70), Ч. 1, № 6, 2020р. <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/02>
3. Лаптев, О. А. Методологічні основи автоматизованого пошуку цифрових засобів негласного отримання інформації. Монографія. Київ: ДУТ, 2020, 332с.
4. Лугінін, О. Є. Статистик а: Підручник : ЗМОіНУ. 2 вид., перероб. та доп. Київ: ЦУЛ, 2007, 608с.
5. Колмогоров, А. М. Про представлення неперервних функцій декількох змінних у виді суперпозицій неперервних функцій однієї змінної. Доповідь. Академія наук. 1957. Т.114. № 5. С. 953 – 956.
6. Хорошко, В. О., Павлов, І. М. Функторність та граничність відображень об'єктів множин в системах захисту інформації. Інформаційна безпека. 2013. № 1. С.107 – 116.
7. Хорошко, В. О., Хохлачова, Ю. Є. Алгоритм розпізнавання об'єктів у складних умовах. Сучасна спеціальна техніка. 2017. № 1. С. 10 – 16.
8. Теорія розривних сплайнів та її застосування в комп'ютерній томографії: монографія / І. В. Сергієнко, В. К. Задірака, О. М. Литвин, Ю. І. Першина // – К.: Наук. думка, 2017. – 314 с.
9. Литвин, О. М. Побудова кусково-білінійних сплайнів для наближення функцій з розривами першого роду у вузлах прямокутної двовимірної області / О.М. Литвин, Ю.І. Першина // Таврічний вісник інформатики та математики. – 2011. – №1. – С. 63 – 72.
10. Литвин, О. М. Наближення розривних функцій розривними сплайнами на криволінійній трапеції / О. М. Литвин, Ю. І. Першина // Доповіді НАНУ. 2013. – №2. – С. 30 – 35.
11. Нікулін, О. В. Основи векторного і тензорного числення: теоретичні відомості та тести / О. В. Нікулін, Т. В. Наконечна. – Дніпропетровськ: Біла К.О., 2012. – 73 с.
12. Lebedev, L., Cloud, M., Eremeyev V. Tensor analysis with applications in mechanics, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2010. –198с.
13. Валь, О. Д. Основи векторного та тензорного аналізу: навч. посібник / О.Д. Валь, С.Л. Королюк, С.В. Мельничук. – Чернівці: Книги - XXI, 2006.– 351 с.
14. Едвардс, Ч. Г., Пенні, Д. Е. Диференціальні рівняння і крайові задачі: моделювання та обчислення за допомогою Mathematica, Maple і MATLAB. 3-є видання. К.: Діалектика-Вільямс, 2007. 434 с.
15. Забара, С. Характеристики моделювання систем у середовищі MATLAB. К.: Вид. Університет "Україна", 2011. 137 с.

Надійшла 04.01.2024