TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND NETWORKS

DOI 10.20535/2411-1031.2021.9.2.250077
УДК 004.056.53

ІННА КАЛЬЧУК,
ТЕТЯНА ЛАПТЄВА,
НАТАЛІЯ ЛУКОВА-ЧУЙКО,
ЮРІЙ ХАРКЕВИЧ

МЕТОД ПОБУДОВИ ЗАХИЩЕНИХ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Сучасне суспільство все більше стає залежним від якості сучасних інформаційно-телекомунікаційних послуг. Важливими показниками якості таких послуг є рівень безпеки наданих сервісів. Тому розробка методів побудови захищених маршрутів у інформаційних мережах є актуальним науковим завданням. У статті розглянуто метод побудови захищених каналів передачі даних у інформаційних мережах. Традиційні нейронні мережі не можуть забезпечити сучасні можливості відображення безпечних мереж, що є найбільш важливими для аналізу передачі даних у наш час. Тому нейронні мережі Sigma-Pi-Sigma є хорошим інструментом для цієї операції через просту архітектуру. Застосування інтегрованого підходу до навчання нейронних мереж, що використовує Sigma-Pi-Sigma-нейрони, допомагає виконати завдання за короткий проміжок часу. Для точної інтерпретації змінного зондового сигналу використовується модель нейронної мережі Sigma-Pi-Sigma. Наукова новизна методу полягає у побудові захищених маршрутів у інформаційних мережах шляхом вдалого поєднання переваг радіального базису та сигмоїдної функції активації. Алгоритм навчання градієнта дозволяє регулювати синаптичні ваги мережі в режимі реального часу з заданою точністю. Висока швидкість навчання та універсальні апроксимаційні властивості запропонованої мережі мають практичне значення; вони будуть особливо корисні при обробці багатовимірних функцій векторного аргументу. У майбутньому дослідження включатимуть розробку мережі Sigma-Pi-Sigma без використання процедури прямого добутку вхідних векторів прихованого шару. Для досягнення переваг над існуючими методами додатково використовуються прямокутні методи матричного підсумовування рядів Фур’є, які раніше у подібних методах не були представлені. Ефективність цих методів для дослідження захищеної передачі інформації у два рази вища у порівнянні з трикутними методами, що підвищує імовірність надійної передачі даних на 15 %.

Ключові слова: захищена мережа, передача даних, алгоритм, надійність, нейронна мережа.

Постановка проблеми. Побудова захищених маршрутів для передачі даних у інформаційних мережах, впровадження технології комутації для підвищення пропускної здатності є основним завданням роботи фахівців в галузі телекомунікацій. При розробці захищених маршрутів вхідні дані для алгоритмів містяться в інформації про мережу передачі, в якій організований обмін інформацією. Якщо алгоритми передачі даних швидко змінюються, то для забезпечення стабальної роботи всієї мережі найбільш корисним є методи забезпечення безперервної передачі інформації захищеними каналами інформаційної мережі. Отримані такими методами дані можуть бути використані для побудови захищених інформаційних мереж, надійність яких характеризується станом захищеності ліній. Для аналізу каналу передачі інформації у дротовій мережі застосовується метод рефлектометрії, який потребує використання дорогих пристроїв для отримання сигналу, відбитого від різних неоднорідностей кабелю. Найскладніше – це інтерпретація результатів.

З метою позбавлення цього недоліку. Для розв'язання проблем моделювання, широко використовуються штучні нейронові мережі, зокрема, багатошарові персептрони (англ. multilayer perceptron, MLP) і мережі з радіально-базисними функціями (англ. Radial Basis Function Neural Networ, RBFN). Багатошарові персептрони надзвичайно ефективні як універсальні апроксиматори. RBFN не поступаються за своїми апроксимуючими властивостями, але у них низька швидкість навчання MLP, заснована на зворотному поширенні помилок. Це обмежує їх застосування, особливо в задачах реального часу [2]. Основним недоліком RBFN є експоненціальне зростання кількості нейронів зі збільшенням розміру вхідних сигналів.

Широко використовується модифікована нейронна мережа Sigma-Pi-Sigma (англ. MSPSNN) з адаптивним підходом, що є одним із способів знайти кращі мультиноміальні рішення технічного завдання або певної проблеми по забезпеченню передачі інформації. Отже, для розв'язання поставленого завдання потрібно почати з отримання повного багаточлена сигналу із заданим порядком. Після цього будемо використовувати техніку регуляризації в процесі навчання, щоб зменшити кількість складових що використовуються в багаточлені, і в кінцевому підсумку отримаємо новий SPSNN з рівною кількістю одночленів. Алгоритм відбору даних виконується випадковим чином з рівною ймовірністю через кожні 50 ітерацій (одна ітерація з усіх прикладів представлена навчальним зразком). Розглянутий алгоритм налаштувань нейронних мереж базується на розрахунку оптимального співвідношення внутрішніх параметрів нейронної мережі, а саме вагових коефіцієнтів і параметрів функцій, що активуються шляхом подачі на вхід нейронної мережі вхідного вектора даних та фіксації отриманих значень. Значення виміряної помилки, викликаної невідповідністю між очікуваним і фактично прийнятим вихідними сигналами, вводиться в алгоритм навчання. Формування нових рішень у розробленому алгоритмі забезпечує навчання пошуку, простору та форматування оптимального рішення, оптимальному набору комбінації параметрів. Важливим поняттям у теорії передачі сигналів є принцип ортогональності (на основі коефіцієнта кореляційної функції) або прийому, який дозволяє вибрати систему ортогональних функцій (несучих сигналів), що забезпечують найкращу якість передачі. Коли сигнали рівні, коефіцієнт ортогональності має максимальне значенням. Однак, якщо сигнали різні, то коефіцієнт ортогональності дорівнює нулю.

Таким чином, на даний час в практиці і теорії побудови захищених каналів передачі інформації існує протиріччя між необхідністю побудови гарантованого захищеного каналу передачі інформації і можливостями існуючих методів які використовуються для будування захищених каналів передачі даних у інформаційних мережах.

Отже, розроблення методу побудови захищених каналів передачі даних у інформаційних мережах з використанням модифікованої нейронної мережі є актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методам побудови захищених каналів передачі даних у інформаційних мережах присвячено значну кількість публікацій. Так, у [1] розглядаються методи побудови захищеного каналу передачі даних за допомогою нейронних мереж. Проаналізовано актуальність використання нейронних мереж як альтернативного інструментарію для дослідження ефективності системи інформаційного забезпечення діяльності суб'єктів господарювання. У [2] канали систем радіозв'язку військового призначення характеризуються високим рівнем частотно-часової селективності та низькою енергетикою. Це пов'язано з особливостями дислокації вузлів зв'язку, необхідністю високо динамічного переміщення органів та пунктів управління, використанням противником засобів радіоелектронної боротьби. В таких умовах використовується розширення спектру сигналів методами швидкої псевдовипадкової перестройки частоти (англ. Fast Frequency Hopping, FFH) або прямої послідовності (англ. Direct Sequence, DS). Однак, ці методи передачі негативно впливають на частотну ефективність системи і є достатньо вразливими до дії вузькосмугових та імпульсних завад. Тому практично у всіх сучасних стандартах мобільного радіозв'язку та бездротового широкополосного доступу сумісно застосовуються технології MIMO (англ.

Multiple Input-Multiple Output, MIMO) та OFDM (англ. Orthogonal Frequency Division Multiplex, OFDM), що ґрунтується на методах просторового рознесення за допомогою багатоелементних антен та ортогонального частотного мультиплексування. Але це більш апаратний метод створення захищеного каналу передачі інформації, він не використовує програмні методи побудови захищених каналів передачі інформації. У [3] - [5] проаналізовано застосування штучних нейронних мереж у прикладних задачах забезпечення, виявлення та класифікації кіберзагроз. Розглянуто структуру штучних нейронних мереж, математичні основи їх роботи, основні етапи обробки даних при використанні для вирішення задач виявлення кібернетичних загроз, питання побудови захищеного каналу передачі даних не розкривається. У [6] - [9] проаналізовано питання оцінювання ефективності системи захисту інформації в автоматизованій системі сучасного підприємства, основні підходи такого оцінювання, їх переваги та недоліки. Різноманіття варіантів побудови інформаційної системи породжує необхідність створення різних систем захисту інформації, що враховують індивідуальні особливості об'єктів інформаційної діяльності. Великий обсяг наявних публікацій не формує чіткого уявлення про побудову захищених каналів передачі даних для конкретної інформаційної системи, з урахуванням особливостей та умов функціонування. Оцінка ефективності системи захисту інформації повинна обов'язково враховувати як об'єктивні обставини, так і ймовірні фактори [10] - [31]. В даному випадку критерієм ефективності може бути її клас захищеності. При цьому питання побудови захищеного каналу передачі даних розглядаються як додатковий метод. Тому програмні методи побудови захищених каналів передачі інформації не розкриваються. Разом із тим, в цих роботах не в повній мірі відображені питання побудови захищеного каналу передачі даних.

Метою статті є розробка методу побудови захищених каналів передачі даних з використанням модифікованої нейронної мережі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для пояснення запропонованого методу розглянемо нейронні мережі. Штучні нейронні мережі складаються з нейронів, кожен з яких є спрощеною моделлю біологічного нейрона. Функція нейрона полягає в тому, щоб отримувати сигнали від багатьох входів, обробляти їх одним способом і передавати результат багатьом іншим штучним нейронам, тобто робить те ж саме, що і біологічний нейрон. Біологічні нейрони з'єднані між собою аксонами, суглоби називаються синапсами. У синапсах відбувається посилення або послаблення електрохімічного сигналу. Зв'язки між штучними нейронами називаються синоптичними або просто синапсами [5]. У синапсу є один параметр – ваговий коефіцієнт, в залежності від його значення відбувається зміна інформації при її передачі від одного нейрона до іншого. Це можливо завдяки тому, що вхідна інформація обробляється і перетворюється в результат, а навчання нейронної мережі базується на експериментальному підборі такого вагового коефіцієнта для кожного синапсу, що дозволяє отримати бажаний результат. Для його отримання необхідно максимізувати точність нейронних мереж Sigma-Pi-Sigma, будемо використовувати прямокутні методи перетворення рядів Фур'є з огляду на їх переваги.

Беручи до уваги все вищезазначене, в моделі Sigma-Pi-Sigma найбільш актуальним є використання прямокутних методів підсумовування рядів Фур'є [7] - [10].

Суть матричного підсумовування ряду Фур'є полягає в тому, що за допомогою даних двох нескінченних матриць чисел $\Lambda = \left\| \lambda_k^{(n)} \right\|$ та $M = \left\| \mu_k^{(n)} \right\|$, де $n = 0,1,2,...$ та $k = 0,1,2,\dots,n$, кожній 2π – періодичній функції $f(x)$ відповідає поліноміальний $U_n(f;x;\Lambda;M)$ вид

$$U_n(f;x;\Lambda;M) = \frac{a_0\lambda_0^{(n)}}{2} + \sum_{k=1}^{\infty}[\lambda_k^{(n)}(a_k(f)\cos kx +$$

$$+b_k(f)\sin kx) + \mu_k^{(n)}(-b_k(f)\cos kx + a_k(f)\sin kx)], \quad (1)$$

де $a_k(f)$ та $b_k(f)$ – коефіцієнти Фур'є функції $f(x)$.

Отже, визначають один лінійний метод $U(\Lambda, \mathrm{M})$ – підсумовування, складових ряду Фур'є, або, аналогічно, послідовність лінійних поліноміальних операторів U_n, які задані на періоді 2π функції. Тож візьмемо до уваги $\lambda_0^{(n)} \equiv 1$, $\mu_k^{(n)} \equiv 0$ і отримаємо

$$U_n(f;x;\Lambda;0) = U_n(f;x;\Lambda); \quad U(\Lambda;0) = U(\Lambda). \tag{2}$$

Далі приділимо увагу деяким лінійним методам для матричного підсумовування рядів Фур'є.

1. Одним із найпростіших, але широко використовуваних лінійних методів матричного підсумовування є метод часткових сум $S_n(f;x)$ рядів Фур'є [7]. Його можна отримати, якщо підставити у вираз (1) $\lambda_k^{(n)} \equiv 1$ та $\mu_k^{(n)} \equiv 0$. У цьому випадку отримуємо $U_n(f;x;\Lambda) = S_n(f;x)$. Надалі заносимо у формулу (1) значення коефіцієнтів $a_k(f)$ та $b_k(f)$ як результат

$$S_n(f;x) = \frac{1}{2\pi}\int_{-n}^{n} f(t)\,dt + \sum_{k=1}^{n}\left(\left(\frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(t)\,dt\cos kt\,dt\right)\cos kx + \left(\frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(t)\,dt\sin ktdt\right)\right) =$$

$$= \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(t)\left[\frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{n}(\cos kt\cdot\cos kx + \sin kt\cdot\sin kx)\right]dt == \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(t)\left[\frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{n}\cos k(t-x)\right]dt\,. \tag{3}$$

Тригонометричний поліноміальний порядок для n

$$D_n(x) = \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{n}\cos kx = \frac{1}{2} + \cos x + \cos 2x + \ldots + \cos nx \tag{4}$$

називається ядром Діріхле. (4) водночас є ядром лінійного методу часткової суми Фур'є і, в той же час, має місце

$$D_n(x) = \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{n}\cos kx = \frac{1}{2} + \cos x + \cos 2x + \ldots + \cos nx = \frac{1}{2\sin\frac{x}{2}}\left[\sin\frac{x}{2} + \sum_{k=1}^{n}2\sin\frac{x}{2}\cos kx\right] =$$

$$= \frac{1}{2\sin\frac{x}{2}}\left[\sin\left(k+\frac{1}{2}\right)x - \sin\left(k-\frac{1}{2}\right)x\right] == \frac{\sin(n+\frac{1}{2})x}{2\sin\frac{x}{2}}\,. \tag{5}$$

З останнього співвідношення випливає, що ядро часткової суми Фур'є є частковим триметричним поліномом порядку і для нього

$$\frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} D_n(x)\,dx = 1\,. \tag{6}$$

2. Другим за використанням значенням в прикладній математиці є матричний лінійний метод середнього арифметичного $\sigma_n(f;x)$ – метод Фейєра [9]. Очевидно, що в (1) розглядаємо $\lambda_k^{(n)} = 1 - \dfrac{k}{n}$ та $\mu_k^{(n)} \equiv 0$. Тому

$$U_n(f;x;\Lambda) = \sigma_n(f;x) = \frac{1}{n}\sum_{k=0}^{n-1} S_k(f;x)\,. \tag{7}$$

Таким чином, ядро Фейєра є середнім арифметичним перших ядер Діріхле, а це означає, що існує тригонометричний поліноміальний ряд з $n-1$. Отримуємо

$$F_n(x) = \frac{1}{n}[D_0(x) + D_1(x) + \cdots + D_{n-1}(x)] = \frac{1}{n}\sum_{k=0}^{n-1} D_k(x) = \frac{1}{2n\sin\frac{x}{2}}\left[\sin\frac{x}{2} + \sin\frac{3x}{2} + \cdots + \sin\frac{2n-1}{2}x\right] =$$

$$= \frac{1}{4n\sin^2\frac{x}{2}}[(1-\cos x) + (\cos x - \cos 2x) + \cdots + (\cos(n-1)x - \cos nx)] = \frac{1-\cos nx}{4n\sin^2\frac{x}{2}} = \frac{\sin^2\frac{nx}{2}}{2n\sin^2\frac{x}{2}} +$$

$$+(\cos(n-1)x-\cos nx)]=\frac{1-\cos nx}{4n\sin^2\frac{x}{2}}=\frac{\sin^2\frac{nx}{2}}{2n\sin^2\frac{x}{2}}. \qquad (8)$$

При цьому враховуємо рівність

$$F_n(x)=\frac{1}{n}\sum_{k=0}^{n-1}D_k(x)=\frac{1}{n}\left[\frac{1}{2}+\left(\frac{1}{2}+\cos x\right)+\cdots+\right.$$

$$\left.+\left(\frac{1}{2}+\cos x+\cdots+\cos(n-1)x\right)\right]=\frac{1}{2}+\left(1-\frac{1}{n}\right)\cos x+\left(1-\frac{2}{n}\right)\cos 2x+\cdots+\left(1-\frac{n-1}{n}\right)\cos(n-1)x \qquad (9)$$

Беручи до уваги, що ядром лінійного методу Фейєра $F_n(x)$ є кратний невідчужуваний тригонометричний поліном ступеня $n-1$ і це очевидно $\frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi}F(x)\,dx=1$.

3. Узагальненням наведеного вище лінійного методу Фейєра є так званий метод лінійної матриці Зигмунда [11]. Його можна отримати, вставивши в (4) $\lambda_k^{(n)}=1-\left(\frac{k}{n}\right)^s$, $k=0,1,\ldots,n-1,\quad s>0$, та $\mu_k^{(n)}\equiv 0$. Отже, з (4) отримуємо, що

$$U_n(f;x;\Lambda)=Z_n^{(s)}(f;x)=\frac{a_0}{2}+\sum_{k=1}^{n-1}\left(1-\left(\frac{k}{n}\right)^s\right)(a_k\cos kx+b_k\sin kx). \qquad (10)$$

Поліноми $Z_n^{(s)}(f;x)$ називаються сумами Зигмунда. Коли $s=1$ суми $Z_n^{(s)}(f;x)$ збігаються з сумами Фейєра $\sigma_n(f;x)$.

4. Отримаємо лінійний метод матриці Валле-Пусенна [11], враховуючи (4)

$$\lambda_k^{(n)}=\begin{cases}1, & \text{when } k=0,1,...,n-p;\\ 1-\frac{k-n+p}{p+1}, & \text{when } k=n-p+1,...,n.\end{cases} \qquad (11)$$

та $\mu_k^{(n)}\equiv 0$. Тому

$$U_n(f;x;\Lambda)=V_{n-p+1}^{n}(f;x)=\frac{1}{p+1}\sum_{k=n-p}^{n}S_k(f;x). \qquad (12)$$

Ядром лінійного методу матриці Валле-Пуссена є середнє арифметичне ядра Діріхле від $(n-p)$ до n , і тому відношення між ядрами Валле-Пуссена і Діріхле дорівнює $V_n^{n+1}=D_n(x)$, Між ядрами Валле-Пуссена і Фейєра справедлива рівність

$$V_0^n=F_n(x). \qquad (13)$$

5. Якщо в (4) розглянути $\lambda_k^{(n)}=\cos\frac{k\pi}{2n}, k=0,1,\ldots,n$ та $\mu_k^{(n)}\equiv 0,$ то отримаємо метод лінійної матриці Рогозінського [12]. Так

$$U_n(f;x;\Lambda)=R_n(f;x)=\frac{1}{2}[S_n(f;x+\frac{\pi}{2n})+S_n(f;x-\frac{\pi}{2n})].$$

Поліноми $R_n(f;x)$ називаються сумами Рогозінського.

Дослідження, що стосуються методів лінійного підсумовування матриць, дуже важливі саме при розробці методів побудови захищених маршрутів у інформаційних мережах. Кожен із наведених вище матричних лінійних методів є окремим об’єктом побудови захищених маршрутів інформаційних мереж завдяки широкому застосуванню при перетворенні сигналів та передачі даних.

Для повного аналізу необхідно взяти до уваги наступну теорему.

До парного збігу послідовності поліномів $U_n(f;x;\Lambda)$ та $f(x)$ по всьому простору C необхідно і достатньо виконання умови

$$\lim_{n\to\infty}\lambda_k^{(n)}=1.$$

Послідовність констант Лебега обмежена

$$L_n(\Lambda)=O(1),\quad n\to\infty, \tag{14}$$

де $L_n(\Lambda)=\sup\limits_{|f|<1}\left\|U_n(f;x;\Lambda)\right\|_C=\dfrac{2}{\pi}\int\limits_0^{\pi}\left|U_n(t;\Lambda)\right|dt.$

Нехай $\Lambda=\{\lambda_\delta(k)\}$ – множина функцій, які залежать від $k=0,1,...,n$ та від параметра δ, який змінюється над деякою множиною $E_\Lambda\subseteq R$. Вважатимемо також $\lambda_\delta(0)=1,\ \forall\delta\in E_\Lambda$. Варто зазначити, що в тому випадку, коли $\delta=n,\ n\in N,$ числа $\lambda_\delta(k)=:\lambda_{n,k}$ є елементами прямокутної матриці $\Lambda=\{\lambda_{n,k}\}$ $(n,k=0,1,...;\quad \lambda_{n,0}=1,\ n\in N\{0\})$ або коли $\lambda_{n,k}\equiv 0,\ k>n,$ тоді вони були б елементами трикутної матриці. Використовуючи множину $\Lambda=\{\lambda_\delta(k)\}$, розставимо кожну підсумкову функцію $f(x)$ разом рядами Фур'є

$$\frac{a_0}{2}+\sum_{k=1}^{\infty}(a_k\cos kx+b_k\sin kx) \tag{15}$$

з

$$\frac{a_0}{2}\lambda_\delta(0)+\sum_{k=1}^{\infty}\lambda_\delta(k)(a_k\cos kx+b_k\sin kx),\quad \delta\in E_\Lambda. \tag{16}$$

Якщо цей ряд є рядом Фур'є деякої функції, позначимо його як $U_\delta(f;x;\Lambda),$ і коли $\delta=n,\ n\in N$ то $U_n(f;x;\Lambda).$ Тому кожна множина $\Lambda=\{\lambda_\delta(k)\}$, визначає метод для побудови операторів $U_\delta(f;x;\Lambda)$.

Якщо послідовність $\{\lambda_\delta(k)\}_{k=\overline{0,\infty}}$ складає ряд

$$\frac{1}{2}+\sum_{k=1}^{\infty}\lambda_\delta(k)\cos kt, \tag{17}$$

то ряд Фур'є деякої підсумовуваної функції матиме вираз

$$U_\delta(f;x;\Lambda)=\frac{1}{\pi}\int\limits_{-\pi}^{\pi}f(x+t)\,K_\delta(t;\Lambda)\,dt, \tag{18}$$

де $K_\delta(t;\Lambda)=\dfrac{1}{2}+\sum\limits_{k=1}^{\infty}\lambda_\delta(k)\cos kt$.

Це остаточний вираз застосованого прямокутного методу матричного підсумовування рядів Фур'є.

Висновки. Наукова новизна методу побудови захищених маршрутів у інформаційних мережах з використанням модифікованої нейронної мережі, полягає у вдалому поєднанні переваг радіального базису та сигмоїдної функцій активації. Алгоритм навчання градієнта дозволяє регулювати синаптичні ваги мережі в режимі реального часу з заданою точністю. Висока швидкість навчання та універсальні апроксимаційні властивості запропонованої мережі мають практичне значення; вони будуть особливо корисні при обробці багатовимірних функцій векторного аргументу. У перспективах дослідження включатимуть розробку мережі Sigma-Pi-Sigma без використання процедури прямого добутку вхідних векторів прихованого шару. Додатковою перевагою розробленого методу є використання прямокутних методів матричного підсумовування рядів Фур'є, які раніше не були представлені при вирішенні завдань такого роду. Ефективність цих методів для дослідження захищеної передачі інформації у два рази вища у порівнянні з трикутними методами, що підвищує ймовірність надійної передачі даних на 15%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Z. Hu, V. Mukhin, Y. Kornaga, O. Barabash, and O. Herasymenko, “Analytical assessment of security level of distributed and scalable computer systems”, *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, vol. 8, no. 12, 2016, pp. 57-64, doi: https://doi.org/10.5815/ijisa.2016.12.07.

[2] М. І. Науменко, та Л. М. Погребняк, “Вдосконалення технології просторово-частотного кодування для нестаціонарних частотно-селективних радіоканалів”, на *ІХ науково-практичній конференції Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення,* Київ, 2016, с.130-132.

[3] V. Mukhin, O. Loutskii, O.Barabash, Y. Kornaga, and V. Steshyn, “Models for analysis and prognostication of the indicators of the distributed computer systems’ characteristics”, *International Review on Computers and Software*, vol. 10, no. 12, 2015, pp. 1216-1224, doi: http://dx.doi.org/10.15866/irecos.v10i12.8023.

[4] D. Obidin, V. Ardelyan, N. Lukova-Chuiko, and A. Musienko, “Estimation of functional stability of special purpose networks located on vehicles”, in *Proc. of 2017 IEEE 4th International Conference Actual Problems of Unnamed Aerial Vehicles Development* (APUAVD), Kyiv, 2017, pp. 167-170.

[5] O. Barabash, Y. Kravchenko, V. Mukhin, Y. Kornaga, and O.Leshchenko, “Optimization of parameters at SDN technologie networks”, *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, vol. 9, no. 9, 2017, pp. 1-9, doi: https://doi.org/10.5815/ijisa.2017.09.01.

[6] O. Barabash, V. Sobchuk, N. Lukova-Chuiko, and A. Musienko, “Application of petri networks for support of functional stability of information systems”, in *Proc. of 1st International Conference on System Analysis and Intelligent Computing (SAIC)*, Kyiv, 2018, pp. 36-39.

[7] А. В. Кузьменко, О. В. Матвейчук, та Р. Ю. Корольков, “Використання технологій штучних нейронних та капсульних мереж у системах захисту інформації”, на *Всеукр. наук.-практ. семінарі Використання сучасних інформаційних технологій в діяльності Національної поліції України*, Дніпро, 2017, с. 128-129.

[8] A.I. Stepanets, Classification and approximation of periodic functions, Kiev: Naukova dumka, 1987.

[9] I. V. Kal’chuk, and Yu. I. Kharkevych, “Complete asymptotics of the approximation of function from the Sobolev classes by the Poisson integrals”, *Acta Comment. Univ. Tartu. Math*., vol. 22, no. 1, 2018, pp. 23-36, doi: https://doi.org/10.12697/ACUTM.2018.22.03.

[10] T. V. Zhyhallo, and Yu.I. Kharkevych, “Approximating properties of biharmonic Poisson operators in the classes $\hat{L}_{\beta}^{\psi}$ ”, *Ukrainian Math. Journal*, vol. 69, no. 5, 2017, pp. 650-656.

[11] K. M. Zhyhallo, and Yu. I. Kharkevych, “On the approximation of functions of the Hölder class by triharmonic Poisson integrals”, *Ukrainian Math. Journal*, vol. 53, no. 6, 2001, pp. 855-859.

[12] Yu. I. Kharkevych, and I. V. Kal’chuk, “Approximation of (ψ,β)-differentiable functions by Weierstrass integrals”, *Ukrainian Math. Journal*, vol. 59, no. 7, 2007, pp. 953-978.

[13] I. V. Kal’chuk, and Yu. I. Kharkevych, “Approximating properties of biharmonic Poisson integrals in the classes $W_{\beta}^{r}H^{\alpha}$ ”, *Ukrainian Math. Journal*, vol. 68, no. 11, 2016, pp. 1493-1504.

[14] T. V. Zhyhallo, “Approximation in the mean of classes of the functions with fractional derivatives by their Abel-Poisson integrals continuity”, *Journal of Automation and Information Sciences*, no. 4, 2019, pp. 73-83.

[15] K. M. Zhyhallo, “Algorithmization of calculations of the Kolmogorov-Nikol’skii constants for values of approximations of conjugated differentiable functions by generalized Poisson integrals”, *Journal of Automation and Information Sciences*, vol. 51, no. 10, 2019, pp. 58-69, doi: https://doi.org/10.1615/JAutomatInfScien.v51.i10.50.

[16] K. M. Zhyhallo, and Yu. I. Kharkevych, "On the approximation of functions of the Hölder class by biharmonic Poisson integrals", *Ukrainian Math. Journal,* 2000, vol. 52, no.7, pp. 1113-1117, doi: http://dx.doi.org/10.1023/A:1005285818550.

[17] K. M. Zhyhallo, and Yu. I. Kharkevych, "Approximation of differentiable periodic functions by their biharmonic Poisson integrals", *Ukrainian Math. Journal,* vol. 54, no. 9, 2002, pp. 1462-1470, doi: https://doi.org/10.1023/A:1023463801914.

[18] Yu. I. Kharkevych, and I. V. Kal'chuk, "Asymptotics of the values of approximations in the mean for classes of differentiable functions by using biharmonic Poisson integrals", *Ukrainian Math. Journal*, vol. 59, no. 8, 2007, pp. 1224-1237, doi: http://dx.doi.org/10.1007/s11253-007-0082-4.

[19] K. M. Zhyhallo, and T. V. Zhyhallo, "On the approximation of functions from the Hölder class given on a segment by their biharmonic Poisson operators", *Ukrainian Math. Journal,* , vol. 71, no. 7, 2019, pp. 915-921.

[20] U. Z. Hrabova, and I.V. Kal'chuk, "Approximation of the classes $W_\beta^r H^\alpha$ by three-harmonic Poisson integrals", *Carpathian Math. Publ.,* vol. 11, no. 2, 2019, pp. 321-324.

[21] Yu. I. Kharkevych, and K. V. Pozharska, "Asymptotics of approximation of conjugate functions by Poisson integrals", *Acta Comment. Univ. Tartu. Math.*, vol. 22, no. 2, 2018, pp. 235-243.

[22] F. G. Abdullayev, and Yu. I. Kharkevych, "Approximation of the classes $C_\beta^\psi H^\alpha$ by biharmonic Poisson integrals", *Ukr. Mat. Zh.*, vol. 72, no. 1, pp. 20-35, 2020.

[23] A. P. Musienko, and A. S. Serdyuk, "Lebesgue-type inequalities for the de la Vallée poussin sums on sets of entire functions", *Ukrainian Math. Journal*, vol. 65, no. 5, pp. 642-653, 2013.

[24] O. Svynchuk, O. Barabash, J. Nikodem, R. Kochan, and O. Laptiev, "Image compression using fractal functions", *Fractal and Fractional*, vol. 5, no. 2, pp. 1-14, 2021, doi: https://doi.org/10.3390/fractalfract5020031.

[25] O. Barabash, O. Laptiev, V. Sobchuk, I. Salanda, Y. Melnychuk, V. Lishchyna, "Comprehensive Methods of Evaluation of Distance Learning System Functioning". *International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS)*, vol. 13, no. 3, pp. 62-71, 2021, doi: https://doi.org/10.5815/IJCNIS.2021.01.02.

[26] O. Laptiev, V. Savchenko, A. Kotenko, V. Akhramovych, V. Samosyuk, G. Shuklin, A. Biehun, "Method of Determining Trust and Protection of Personal Data in Social Networks", *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, vol. 13, no. 1, pp. 15-21, 2021, doi: http://dx.doi.org/10.54039/ijcnis.v13i1.4882.

[27] S. Yevseiev, O. Laptiev, S. Lazarenko, A. Korchenko, I. Manzhul, "Modeling the protection of personal data from trust and the amount of information on social networks", *EUREKA: Physics and Engineering*, no. 1, pp. 24-31. 2021, doi: https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001615.

[28] В. В. Собчук, "Методика створення єдиного інформаційного простору на виробничому підприємстві з функціонально стійким виробничим процесом", *Системи управління, навігації та зв'язку,* том 6, № 58, с. 84-91, 2019, doi: https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.6. 084.

[29] О. В. Барабаш, Н. П. Лукова-Чуйко, А. П. Мусієнко, та В. В. Собчук, "Забезпечення функціональної стійкості інформаційних мереж на основі розробки методу протидії DDoS-атакам", *Сучасні інформаційні системи*, том 2, № 1, с. 56-63, 2018, doi: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.11.

[30] A. M. Samoilenko, V. G. Samoilenko, and V. V. Sobchuk, "On periodic solutions of the equation of a nonlinear oscillator with pulse influence", *Ukrainian Math. Journal,* vol. 51, no. 6, pp. 926-933, 1999, doi: https://doi.org/10.1007/BF02591979.

[31] A. V. Sobchuk, V. V. Sobchuk, O. V. Barabash, and I. O. Lyashenko, "Functionally sustainable wireless sensor network technologies aspects analysis", *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences,* vol. 23, no. 193, pp. 46-48, 2019, doi: https://doi.org/10.17721/1812-5409.2020/4.10.

Стаття надійшла до редакції 03.09.2021.

REFERENCE

[1] Z. Hu, V. Mukhin, Y. Kornaga, O. Barabash, and O. Herasymenko, "Analytical assessment of security level of distributed and scalable computer systems", *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, vol. 8, no. 12, 2016, pp. 57-64, doi: https://doi.org/ 10.5815/ijisa.2016.12.07.

[2] M. I. Naumenko, and L. M. Pogrebnyak, "Improvement of spatial-frequency coding technology for non-stationary frequency-selective radio channels", in *Proc. IX scientific-practical conference Priority directions of development of telecommunication systems and special purpose networks,* Kyiv, 2016, pp.130-132.

[3] V. Mukhin, O. Loutskii, O.Barabash, Y. Kornaga, and V. Steshyn, "Models for analysis and prognostication of the indicators of the distributed computer systems' characteristics", *International Review on Computers and Software*, vol. 10, no. 12, 2015, pp. 1216-1224, doi: http://dx.doi.org/10.15866/irecos.v10i12.8023.

[4] D. Obidin, V. Ardelyan, N. Lukova-Chuiko, and A. Musienko, "Estimation of functional stability of special purpose networks located on vehicles", in *Proc. of 2017 IEEE 4th International Conference Actual Problems of Unnamed Aerial Vehicles Development* (APUAVD), Kyiv, 2017, pp. 167-170.

[5] O. Barabash, Y. Kravchenko, V. Mukhin, Y. Kornaga, and O.Leshchenko, "Optimization of parameters at SDN technologie networks", *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, vol. 9, no. 9, 2017, pp. 1-9, doi: https://doi.org/10.5815/ijisa.2017.09.01.

[6] O. Barabash, V. Sobchuk, N. Lukova-Chuiko, and A. Musienko, "Application of petri networks for support of functional stability of information systems", in *Proc. of 1st International Conference on System Analysis and Intelligent Computing (SAIC)*, Kyiv, 2018, pp. 36-39.

[7] A. V. Kuzmenko, O. V. Matveychuk, and R. Yu. Korolkov "Use of technologies of artificial neural and capsule networks in information protection systems", in *Proc. All-Ukrainian. scientific-practical seminar The use of modern information technologies in the activities of the National Police of Ukraine*, Dnipro, 2017, pp. 128-129.

[8] A.I. Stepanets, Classification and approximation of periodic functions, Kiev: Naukova dumka, 1987.

[9] I. V. Kal'chuk, and Yu. I. Kharkevych, "Complete asymptotics of the approximation of function from the Sobolev classes by the Poisson integrals", *Acta Comment. Univ. Tartu. Math.*, vol. 22, no. 1, 2018, pp. 23-36, doi: https://doi.org/10.12697/ACUTM.2018.22.03.

[10] T. V. Zhyhallo, and Yu.I. Kharkevych, "Approximating properties of biharmonic Poisson operators in the classes $\hat{L}^{\psi}_{\beta}$", *Ukrainian Math. Journal*, vol. 69, no. 5, 2017, pp. 650-656.

[11] K. M. Zhyhallo, and Yu. I. Kharkevych, "On the approximation of functions of the Hölder class by triharmonic Poisson integrals", *Ukrainian Math. Journal*, vol. 53, no. 6, 2001, pp. 855-859.

[12] Yu. I. Kharkevych, and I. V. Kal'chuk, "Approximation of (ψ,β)-differentiable functions by Weierstrass integrals", *Ukrainian Math. Journal*, vol. 59, no. 7, 2007, pp. 953-978.

[13] I. V. Kal'chuk, and Yu. I. Kharkevych, "Approximating properties of biharmonic Poisson integrals in the classes $W^{r}_{\beta}H^{\alpha}$", *Ukrainian Math. Journal*, vol. 68, no. 11, 2016, pp. 1493-1504.

[14] T. V. Zhyhallo, "Approximation in the mean of classes of the functions with fractional derivatives by their Abel-Poisson integrals continuity", *Journal of Automation and Information Sciences*, no. 4, 2019, pp. 73-83.

[15] K. M. Zhyhallo, "Algorithmization of calculations of the Kolmogorov-Nikol'skii constants for values of approximations of conjugated differentiable functions by generalized Poisson integrals", *Journal of Automation and Information Sciences*, vol. 51, no. 10, 2019, pp. 58-69, doi: https://doi.org/10.1615/JAutomatInfScien.v51.i10.50.

[16] K. M. Zhyhallo, and Yu. I. Kharkevych, “On the approximation of functions of the Hölder class by biharmonic Poisson integrals”, *Ukrainian Math. Journal,* 2000, vol. 52, no.7, pp. 1113-1117, doi: http://dx.doi.org/10.1023/A:1005285818550.

[17] K. M. Zhyhallo, and Yu. I. Kharkevych, “Approximation of differentiable periodic functions by their biharmonic Poisson integrals”, *Ukrainian Math. Journal*, vol. 54, no. 9, 2002, pp. 1462-1470, doi: https://doi.org/10.1023/A:1023463801914.

[18] Yu. I. Kharkevych, and I. V. Kal’chuk, “Asymptotics of the values of approximations in the mean for classes of differentiable functions by using biharmonic Poisson integrals”, *Ukrainian Math. Journal*, vol. 59, no. 8, 2007, pp. 1224-1237, doi: http://dx.doi.org/10.1007/s11253-007-0082-4.

[19] K. M. Zhyhallo, and T. V. Zhyhallo, “On the approximation of functions from the Hölder class given on a segment by their biharmonic Poisson operators”, *Ukrainian Math. Journal*, , vol. 71, no. 7, 2019, pp. 915-921.

[20] U. Z. Hrabova, and I.V. Kal’chuk, “Approximation of the classes $W_{\beta}^{r}H^{\alpha}$ by three-harmonic Poisson integrals”, *Carpathian Math. Publ.,* vol. 11, no. 2, pp. 321-324, 2019.

[21] Yu. I. Kharkevych, and K. V. Pozharska, “Asymptotics of approximation of conjugate functions by Poisson integrals”, *Acta Comment. Univ. Tartu. Math.,* vol. 22, no. 2, 2018, pp. 235-243.

[22] F. G. Abdullayev, and Yu. I. Kharkevych, “Approximation of the classes $C_{\beta}^{\psi}H^{\alpha}$ by biharmonic Poisson integrals”, *Ukr. Mat. Zh.,* vol. 72, no. 1, pp. 20-35, 2020.

[23] A. P. Musienko, and A. S. Serdyuk, “Lebesgue-type inequalities for the de la Vallée poussin sums on sets of entire functions”, *Ukrainian Math. Journal*, vol. 65, no. 5, pp. 642-653, 2013.

[24] O. Svynchuk, O. Barabash, J. Nikodem, R. Kochan, and O. Laptiev, “Image compression using fractal functions”, *Fractal and Fractional*, vol. 5, no. 2, pp. 1-14, 2021, doi: https://doi.org/ 10.3390/fractalfract5020031.

[25] O. Barabash, O. Laptiev, V. Sobchuk, I. Salanda, Y. Melnychuk, V. Lishchyna, “Comprehensive Methods of Evaluation of Distance Learning System Functioning”. *International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS)*, vol. 13, no. 3, pp. 62-71, 2021, doi: https://doi.org/10.5815/IJCNIS.2021.01.02.

[26] O. Laptiev, V. Savchenko, A. Kotenko, V. Akhramovych, V. Samosyuk, G. Shuklin, A. Biehun, “Method of Determining Trust and Protection of Personal Data in Social Networks”, *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, vol. 13, no. 1, pp. 15-21, 2021, doi: http://dx.doi.org/10.54039/ijcnis.v13i1.4882.

[27] S. Yevseiev, O. Laptiev, S. Lazarenko, A. Korchenko, I. Manzhul, “Modeling the protection of personal data from trust and the amount of information on social networks”, *EUREKA: Physics and Engineering*, no. 1, pp. 24-31. 2021, doi: https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001615.

[28] V. V. Sobchuk, “Methods of creating a single information space at a production enterprise with a functionally stable production process”, *Control, navigation and communication systems*, vol. 6, no. 58, pp. 84-91, 2019, doi: https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.6. 084.

[29] O. B. Barabash, N. P. Lukova-Chuiko, A. P. Musienko, and V. V. Sobchuk, “Ensuring the functional stability of information networks based on the development of a method of counteracting DDoS attacks”, *Modern information systems*, vol. 2, no. 1, pp. 56-63, 2018, doi: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.11.

[30] A. M. Samoilenko, V. G. Samoilenko, and V. V. Sobchuk, “On periodic solutions of the equation of a nonlinear oscillator with pulse influence”, *Ukrainian Math. Journal*, vol. 51, no. 6, pp. 926-933, 1999, doi: https://doi.org/10.1007/BF02591979.

[31] A. V. Sobchuk, V. V. Sobchuk, O. V. Barabash, and I. O. Lyashenko, “Functionally sustainable wireless sensor network technologies aspects analysis”, *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, vol. 23, no. 193, pp. 46-48, 2019, doi: https://doi.org/ 10.17721/1812-5409.2020/4.10.

INNA KAL'CHUK,
TETIANA LAPTIEVA,
NATALIIIA LUKOVA-CHUIKO,
YURII KHARKEVYCH

METHOD OF CONSTRUCTION OF PROTECTED DATA TRANSMISSION CHANNELS USING MODIFIED NEURAL NETWORK

Modern society is increasingly dependent on the quality of modern information and telecommunications services. An important indicator of the quality of such services is the security level of services provided. Therefore, the development of methods for constructing secure routes in information networks is an urgent scientific task. This article is devoted to solving this problem. The article considers the method of building secure routes in information networks. Traditional neural networks cannot provide modern capabilities for displaying secure networks, which are most important for data transmission analysis today. Therefore, Sigma-Pi-Sigma neural networks are a good tool for this operation due to their simple architecture. Applying an integrated approach to neural network learning that uses Sigma-Pi-Sigma neurons helps complete tasks in a short period. Neural networks need to find a solution to the problem. The Sigma-Pi-Sigma neural network model is used to accurately interpret the variable probe signal. The scientific novelty of the method is the construction of secure routes in information networks, it is a successful combination of the advantages of the radial basis and sigmoid activation functions. The gradient learning algorithm allows you to adjust the synaptic weights of the network in real-time with a given accuracy. The high learning speed and universal approximation properties of the proposed network are of practical importance; they will be especially useful when processing multidimensional vector argument functions. Future research will include the development of a Sigma-Pi-Sigma network without using the direct production procedure for hidden layer input vectors. To take advantage of existing methods, rectangular Fourier series matrix summation methods are used, which were not previously presented in similar methods. The efficiency of these methods for the study of secure data transmission is twice as high as triangular methods, which increases the probability of reliable data transmission by 15 %.

Keywords: secure networks, data transmission, algorithm, reliability, neural network.

Кальчук Інна Володимирівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри теорії функцій та методики викладання математики, Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна, ORSID 0000-0001-8822-3716, kalchuk_i@ukr.net.

Лаптєва Тетяна Олександрівна, аспірант, кафедра кібербезпеки та захисту інформації, Факультет інформаційних технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, ORCID 0000-0002-5223-9078, tetiana1986@ukr.net.

Лукова-Чуйко Наталія Вікторівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кібербезпеки та захисту інформації, Факультет інформаційних технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, ORCID 0000-0003-3224-4061, lukova@ukr.net.

Харкевич Юрій Іліодорович, кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри теорії функцій та методики викладання математики, Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна, ORSID 0000-0002-8577-5096, kharkevich.juriy@gmail.com.

Kal'chuk Inna, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the department of theory of functions and methods of teaching mathematics, Faculty of information technology and mathematics, Lesya Ukrainka Volyn national university, Lutsk, Ukraine.

Laptieva Tetiana, PHD-student, department of cyber security and information protection, Faculty of information technology, Taras Shevchenko national university of Kyiv, Kyiv, Ukraine.

Nataliia Lukova-Chuiko, doctor of technical sciences, professor, head of department of cybersecurity and information protection, Faculty of information technology, Taras Shevchenko national university of Kyiv, Kyiv, Ukraine.

Kharkevych Yurii, candidate of physical and mathematical sciences, professor of the department of theory of functions and methods of teaching mathematics, Faculty of information technology and mathematics, Lesya Ukrainka Volyn national university, Lutsk, Ukraine.