

ПРОГНОЗУВАННЯ ВТРАТ У СИСТЕМАХ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

¹Вінницький національний технічний університет

Розглянуто метод прогнозування втрат потужності при поширенні сигналу системи стільникового зв'язку. Нове століття характеризується швидким впровадженням систем стільникового зв'язку у всі сфери життя людини. Шляхи проходження сигналу системи стільникового зв'язку від передавача до приймача можуть бути різними: від лінії прямої видимості до щільно забудованої місцевості. На відміну від проводового зв'язку з постійними параметрами, радіоканали безпроводного зв'язку мають випадкові параметри, які складно аналізуються. Саме тому моделювання радіолінії є найскладнішою задачею в процесі проектування систем стільникового зв'язку. Більшість систем стільникового зв'язку працюють в містах, де немає прямої видимості між антенами базових і мобільних станцій. Крім того, наявність високих будівель призводить до великих дифракційних втрат. Також, інтерференція радіохвиль через багаторазове перевідбиття від різних об'єктів викликає суттєву зміну рівня сигналу. Однією з перспективних галузей сучасної техніки є штучні нейронні мережі. Важливою властивістю нейронних мереж є паралельне оброблення інформації великою кількістю нейронів одночасно. Типовими задачами, які можна розв'язати за допомогою нейронних мереж є: керування, кодування та декодування інформації, класифікація, прогнозування, автоматизація процесу ухвалення рішень, розпізнавання образів тощо. Нейронні мережі застосовуються у телекомунікаційних системах для розв'язання таких задач: керування трафіком, розподіл каналів, комутація, адаптивна маршрутизація. Запропоновано використовувати нейронну мережу для підвищення точності визначення втрат потужності при поширенні сигналу системи стільникового зв'язку. Після створення програмного або апаратного рішення нейронної мережі необхідно створити математичну модель мережі та виконати її навчання. Нейронна мережа є багатопшаровим перцептроном, схему якого запропоновано у статті. Обґрунтовано кількість нейронів у всіх шарах перцептрона. Описано роботу багатопшарового перцептрона.

Ключові слова: стільниковий зв'язок, втрати, нейронна мережа.

Вступ та постановка задач дослідження

Наразі технології стільникового зв'язку продовжують стрімко розвиватися та лишаються одним з найперспективніших сегментів міжнародного ринку телекомунікацій. В проектуванні мережі стільникового зв'язку важливим етапом є розрахунок зон покриття, який потребує обчислення напруженості електричного поля або залежності втрат потужності сигналу від відстані від базової до мобільної станції, яке, в свою чергу, ускладнюється тим, що на поширення сигналу системи стільникового зв'язку впливають такі фактори як: втрати сигналу у вільному просторі, дифракція, інтерференція, багатопромінене поширення, проникнення сигналу всередину приміщень та автомобілів, проходження над водою і через рослинність.

Для розрахунку зон покриття мережі стільникового зв'язку наразі застосовуються статистичні та детерміновані методи. В основі статистичних методів лежать узагальнені статистичні формули згасання сигналу в різних типах забудови [1]. Перевагою таких методів є відносно невеликий час обчислення, а недоліком — недостатня точність обчислених результатів. Детерміновані методи

розрахунку зон покриття засновані на фізичних моделях поширення радіохвиль. Такі методи характеризуються досить високою точністю обчислення. Але на практиці вони практично не застосовуються, тому що в умовах міської забудови зі складною архітектурою розрахунок покриття займає занадто багато часу.

Таким чином, постає науково-технічна задача розроблення такого методу розрахунку, який би компенсував недоліки обох вищезгаданих методів, тобто характеризувався досить великою обчислювальною потужністю та забезпечував достатньо високу точність розрахованих результатів.

У працях [2], [3] для розв'язання такої задачі пропонується використовувати апарат штучних нейронних мереж. Штучні нейронні мережі характеризуються такими властивостями як самоорганізація, адаптивне навчання, узагальнення і обчислення у режимі реального часу. Серед основних сфер застосування штучних нейронних мереж можна назвати асоціативну пам'ять, апроксимацію функцій, оптимізацію, розпізнавання, класифікацію та прогнозування. Суттєвими перевагами нейромережевих технологій у порівнянні з іншими методами є відсутність необхідності створення математичної моделі об'єкта, необмеженість числа врахованих факторів впливу, можливість автоматично вдосконалення моделі шляхом самонавчання. У телекомунікаційних мережах також широко застосовують нейромережеві технології як інструмент для аналізу у задачах маршрутизації та керування трафіком.

Але описані у літературі [4], [5] штучні нейронні мережі характеризуються досить невеликою кількістю параметрів мережі, що враховуються під час обчислення. Це пов'язано з тим фактом, що розроблені штучні нейронні мережі порівнюються з однією з відомих моделей поширення радіохвиль (Окумура–Хата, Уолфіш–Ікегамі тощо), кожна з яких розроблена для міст із забудовою певного типу. Тому пропонується розробити нейронну мережу для прогнозування втрат у системі стільникового зв'язку на основі відомих штучних нейронних мереж, але з підвищеною кількістю вхідних параметрів, без прив'язки до конкретної статистичної моделі. Це дасть змогу використовувати запропоновану нейронну мережу для прогнозування втрат у містах, які характеризуються змішаним видом забудови, тобто пристрій на основі запропонованої нейронної мережі буде гнучкішим відносно умов сучасного міста.

В процесі прогнозування втрат за допомогою штучної нейронної мережі необхідно виконати такі етапи: попереднє опрацювання даних; налаштування нейронної мережі; навчання мережі; пробне прогнозування; оцінка похибки прогнозування.

Таким чином, покращити ефективність функціонування стільникових систем четвертого покоління пропонується за рахунок використання нейромережевих технологій.

Метою роботи є обґрунтування методу прогнозування втрат при поширенні сигналів систем стільникового зв'язку, що передбачає використання нейромережевих технологій.

Для досягнення мети потрібно розв'язати такі задачі:

- обґрунтувати метод прогнозування втрат із застосуванням штучної нейронної мережі;
- визначити архітектуру штучної нейронної мережі;
- описати основні принципи роботи запропонованої нейронної мережі.

Розв'язання поставлених задач

Метод, оснований на застосуванні нейронних мереж, вимагає навчання мережі на досить великій вибірці, яка отримується на основі попередніх вимірювань потужності та обчислень втрат при поширенні сигналів у різних точках місцевості та за різних умов поширення. Після цього, за умови успішного навчання, нейронна мережа може виконувати оцінку втрат. Перевагою запропонованого методу є можливість враховувати значну кількість параметрів системи мобільного зв'язку, що дозволить підвищити точність прогнозування величини втрат. Також його можна використовувати у нових містах з різним типом забудови. У разі застосування такого методу будуть враховані не лише параметри мережі, але особливості забудови.

Узагальнений алгоритм роботи пристрою прогнозування втрат при поширенні сигналу системи стільникового зв'язку на базі нейронної мережі може виглядати так:

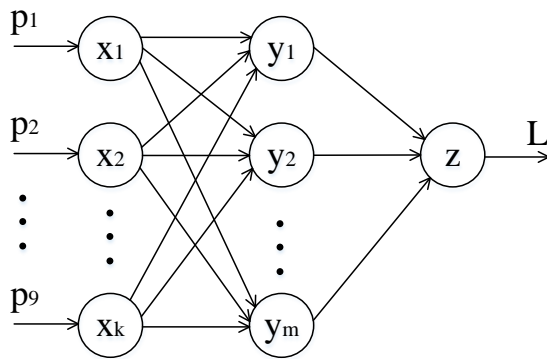
- проводяться експериментальні вимірювання потужностей сигналів і обчислюються втрати по потужності на вибраній території;
- вибирається структура нейронної мережі і алгоритм її навчання;
- виконується навчання нейронної мережі на основі отриманих даних;
- навчена нейронна мережа тестується, перевіряється адекватність отриманих оцінок.

Для цілей прогнозування найбільше підходить нейронна мережа типу перцептрон з прямим поширенням сигналу, яка є багат шаровою нейронною мережею без зворотних зв'язків і затримок і здатна встановити функціональний зв'язок між отриманими і прогнозованими даними [6].

Як вхідні величини нейронної мережі пропонується використати такі дев'ять параметрів стільникової мережі із зазначеними діапазонами можливих значень:

- 1) відстань між мобільною та базовою станціями (300м...30км);
- 2) несуча частота (800, 900, 1800, 2100, 2600 МГц);
- 3) висота антени базової станції (3...200 м);
- 4) висота антени мобільної станції (1...10 м);
- 5) потужність антени базової станції (20...40Вт);
- 6) підсилення антени базової станції (7...18 дБі);
- 7) ширина вулиць (3...8,5 м);
- 8) висота будівель (5...400м);
- 9) відстань між будівлями (10...200м).

Пропонована штучна нейронна мережа (рис.) є багат шаровим перцептроном. Його вхідний шар складається з 9 нейронів x_i , $i=1...9$. Прихований шар складається з 21 нейрона y_j , $j=1...21$, причому $m=2(9+1)+1$. Вихідний шар складається з одного нейрона z . Нейрони вхідного та прихованого шарів з'єднуються між собою синапсами з ваговими коефіцієнтами w_{ij} , Нейрони прихованого та вихідного шарів з'єднуються між собою синапсами з ваговими коефіцієнтами v_j .



Штучна нейронна мережа

Запропонована штучна нейронна мережа функціонує таким чином: на входи нейронів вхідного шару надходять сигнали p_i , що є значеннями одного з дев'яти параметрів. Кожний нейрон x_i вхідного шару передає отримане значення, перемножене з відповідними ваговими коефіцієнтами, всім нейронам прихованого шару.

У кожному прихованому нейроні y_j підсумовуються отримані зважені значення $x_i w_{ij}$ з урахуванням зміщення та обчислюється y_{jS}

$$y_{jS} = \sum_{i=1}^k x_i \cdot w_{ij} + w_{0j},$$

де w_{0j} — це зміщення нейрона прихованого шару.

Для кожного нейрона прихованого шару обчислюється значення функції активації

$$y_j = f(y_{jS}).$$

Для цього випадку функція активації є функцією гіперболічного тангенсу, що розраховується за формулою

$$f(a) = \frac{e^a - e^{-a}}{e^a + e^{-a}}.$$

У нейроні вихідного шару z підсумовуються отримані значення та обчислюється значення z_S за формулою

$$z_S = \sum_{l=1}^m y_l \cdot v_l + v_0,$$

де v_0 — це зміщення нейрона вихідного шару.

Для нейрона вихідного шару значення функції активації, що є функцією гіперболічного тангенсу, обчислюється за формулою

$$z = f(z_S).$$

Вихідною величиною нейронної мережі є прогнозоване значення втрат при поширенні сигналу системи стільникового зв'язку (у децибелах).

$$z = L.$$

У нейроні вихідного шару обчислюється похибка з урахуванням еталонного вихідного значення t

$$\delta = (t - z) \cdot f'(z_S).$$

Також у нейроні вихідного шару обчислюється величина корегування вагових коефіцієнтів

$$\Delta v_j = h \cdot \delta \cdot y_j,$$

та величина корегування зміщення

$$\Delta v_0 = h \cdot \delta,$$

де h — це коефіцієнт навчання.

У нейронах прихованого шару обчислюється сумарна похибка вихідних нейронів, яка надходить у j -прихований нейрон,

$$\delta_{jS} = \sum_{n=1}^p \delta \cdot v_j,$$

значення похибки

$$\delta_j = \delta_{jS} \cdot f'(y_{jS}),$$

корегування вагових коефіцієнтів

$$\Delta w_{ij} = h \cdot \delta_j \cdot x_i$$

та корегування зміщення

$$\Delta w_{0j} = h \cdot \delta_j.$$

Значення вагових коефіцієнтів оновлюються за формулами

$$w_{ij} = w_{ij} + \Delta w_{ij};$$

$$v_{jn} = v_{jn} + \Delta v_{jn}.$$

Навчання нейронної мережі триває до тих пір, поки не буде мінімізовано сумарну середньоквадратичну похибку

$$E_s = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^n (z^q - t^q)^2,$$

де n — це розмірність навчальної вибірки.

Висновки

Обґрунтовано метод прогнозування втрат при поширенні сигналів системи стільникового зв'язку, який передбачає застосування штучної нейронної мережі. Ця мережа відрізняється від відомих тим, що має розширений набір вхідних параметрів, а це дозволяє враховувати не лише параметри системи стільникового зв'язку, але й особливості міської забудови.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] В. А. Утц, «Исследование потерь при распространении радиосигнала сотовой связи на основе статистических моделей», *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*, № 5, с. 44-49, 2011.
- [2] С. В. Молчанов, и А. И. Захаров, «Применение искусственных нейронных сетей с целью прогнозирования характеристик распространения радиосигнала», *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*, № 4, с. 100-105, 2014.
- [3] Yan Zhang, JinxiaoWen, Guanshu Yang, Zunwen He, and Jing Wang, "Path Loss Prediction Based on Machine Learning: Principle, Method, and Data Expansion," *Applied Sciences*, vol. 9, issue 9, May. 2019. <https://doi.org/10.3390/app9091908>.

[4] Bruno J. Cavalcanti, and Gustavo A. Cavalcante, “A Hybrid Path Loss Prediction Model based on Artificial Neural Networks using Empirical Models for LTE And LTE-A at 800 MHz and 2600 MHz,” *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, vol. 16, no. 3, pp. 708-722, September. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-10742017v16i3925> .

[5] Segun I. Popoola, Emmanuel Adetiba, Aderemi A. Atayero, Nasir Faruk, and Carlos T. Calafate, “Optimal model for path loss predictions using feed-forward neural networks,” *Cogent Engineering*, vol. 5, February. 2018. <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1444345>.

[6] А. Ю. Кононюк, *Нейронні мережі і генетичні алгоритми*. Київ, Україна: Корнійчук, 2008, 446 с.

Рекомендована кафедрою системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 25.03.2020

Семенова Олена Олександрівна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, e-mail: Helene_S@ukr.net ;

Войцеховська Ольга Олександрівна — аспірантка, асистент кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, e-mail: olgav1085@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. O. Semenova¹
O. O. Voitsekhovska¹

Prediction of Losses in Cellular Systems Using Neural Networks

¹Vinnitsia National Technical University

The paper considers a method for determining power losses of signal propagation in a cellular system. The new century is characterized by the rapid introduction of cellular communications in all areas of human life. The cellular signal transmission paths from a transmitter to a receiver may be different: from a line-of-sight to a densely built-over locality. Unlike fixed-line wiring, wireless radio channels have random parameters that are difficult to analyze. That is why radio link modeling is the most difficult task when designing cellular communication systems. Most cellular systems operate in cities where there is no direct vision between antennas of a base and mobile stations. In addition, the presence of high buildings leads to large diffraction losses. Also, the interference of radio waves due to re-reflection from different objects causes a significant change in the signal level. One of the promising fields of modern technology is artificial neural networks. An important feature of neural networks is the parallel processing of information by a large number of neurons at the same time. Typical tasks that can be solved using neural networks are: control, encoding and decoding of information, classification, forecasting, automation of a decision-making process, pattern recognition and more. Neural networks are used in telecommunication systems to solve the following tasks: traffic control, channel allocation, switching, and adaptive routing. The paper proposes to use a neural network for increasing the accuracy of power loss determining for cellular system signal propagation. After creating a software or hardware solution for the neural network, a mathematical model of the network must be created and the network training must be performed. The proposed neural network is a multilayer perceptron. The paper presents the proposed architecture of the perceptron. The number of neurons in all the layers has been substantiated. The operation of the multilayered perceptron has been described.

Keywords: cellular system, losses, neural network.

Semenova Olena O. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Telecommunication Systems and Television, e-mail: Helene_S@ukr.net ;

Voitsekhovska Olha O. — Post-Graduate Student, Assistant of the Chair of System Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphics, e-mail: olgav1085@gmail.com

Е. А. Семёнова¹
О. А. Войцеховская¹

Прогнозирование потерь в системах сотовой связи с помощью нейронных сетей

¹Винницкий национальный технический университет

Рассмотрен метод прогнозирования потерь мощности при распространении сигнала системы сотовой связи. Новый век характеризуется быстрым внедрением систем сотовой связи во все сферы жизни человека. Пути прохождения сигнала системы сотовой связи от передатчика к приемнику могут быть разными: от линии прямой видимости до плотно застроенной местности. В отличие от проводной связи с постоянными параметрами, радиоканалы беспроводной связи характеризуются случайными параметрами, которые сложно анализировать. Именно поэтому моделирование радиолинии является сложной задачей при проектировании систем сотовой связи. Большинство систем сотовой связи работают в городах, где нет прямой видимости между антеннами базовых и мобильных станций. Кроме того, наличие высоких зданий приводит к большим дифракционным потерям. Также, интерференция радиоволн из-за многократного переотражения от различных объектов вызывает значительное изменение уровня сигнала. Одной из перспективных отраслей современной техники являются искусственные нейронные сети. Важное свойство нейронных сетей — это параллельная обработка информации большим количеством нейронов одновременно. Типичными задачами, которые можно решить с помощью нейронных сетей являются: управление, кодирование и декодирование информации, классификация, прогнозирование, автоматизация процесса принятия решений, распознавание образов и тому подобное. Нейронные сети применяются в телекоммуникационных системах при решении следующих задач: управление трафиком, распределение каналов, коммутация, адаптивная маршрутизация. В работе предложено использовать нейронную сеть для повышения точности определения потерь при распространении сигнала системы сотовой связи. После создания программного или аппаратного решения нейронной сети необходимо разработать математическую модель сети и обучить её. Предлагаемая нейронная сеть представляет собой многослойный персептрон, схема которого показана в работе. Обоснованно количество нейронов во всех слоях персептрона. Описана работа многослойного персептрона.

Ключевые слова: сотовая система, потери, нейронная сеть.

Семёнова Елена Александровна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры телекоммуникационных систем и телевидения, e-mail: Helene_S@ukr.net ;

Войцеховская Ольга Александровна — аспирант, ассистент кафедры системного анализа, компьютерного мониторинга и инженерной графики, e-mail: olgav1085@gmail.com