

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

¹Вінницький національний технічний університет

Для систем мобільного зв'язку всіх поколінь необхідними є функції позиціонування, тобто автоматичне визначення місця розташування абонентів у межах стільникових мереж. Проте, впроваджуючи мережі нових поколінь, для розвитку послуг, пов'язаних з місцем розташування абонентів, необхідно забезпечити вищу точність визначення географічних координат мобільних станцій. Для розв'язання задачі позиціонування мобільної станції виконується обчислення її географічних координат відносно відомих координат базових станцій. У роботі запропоновано використовувати нейронну мережу для підвищення ефективності визначення місцезнаходження мобільної станції системи стільникового зв'язку. Методи позиціонування, що передбачають використання нейронних мереж, базуються на вимірюваннях рівнів сигналів від базових станцій, координати яких є відомими або від всіх найближчих точок доступу. Після створення програмного або апаратного рішення штучної нейронної мережі потрібно розробити математичну модель позиціонування та виконати процедуру навчання мережі. Запропонований метод визначення місцеположення базується на значеннях величини RSSI. Перевагою методу RSSI є те, що він не потребує ані додаткового обладнання, ані додаткової обчислювальної потужності. Недоліком методу RSSI є недостатня точність. Таким чином, метою роботи є розроблення оптимізованого методу визначення місцеположення мобільної станції. Згідно з запропонованим методом, значення RSSI від декількох найближчих базових станцій (мінімум трьох) до шуканої мобільної станції надходить у нейронну мережу, на двох виходах якої після відповідного оброблення з'являються значення координат (географічні широта та довгота) мобільної станції. Пропонована нейронна мережа є багатошаровим перцептроном. У статті подано розроблену схему багатошарового перцептрона. Обґрунтовано число нейронів у всіх шарах перцептрона. Описано роботу багатошарового перцептрона.

Ключові слова: мобільна станція, позиціонування, нейронна мережа, багатошаровий перцептрон.

Вступ та постановка задач дослідження

Наразі все більшої популярності набувають різні способи позиціонування об'єктів як на відкритому просторі, так і усередині приміщення [1]—[4]. У загальному випадку, процедура позиціонування включає в себе визначення координат і параметрів руху мобільного абонента. В основу вирішення завдання позиціонування мобільної станції покладено визначення розташування та обчислення координат мобільної станції відносно відомих координат базових станцій [5], [6]. Позиціонування мобільних станцій включає дві функції — вимірювання параметрів сигналу і обчислення координат.

Існують методи позиціонування на основі мобільних станцій, з підтримкою мережі і на основі мережі мобільного зв'язку. Також, системи позиціонування поділяють на кутимірні, дальномірні, різницево-дальномірні та комбіновані. Так, метод GPS-позиціонування з мережевою підтримкою передбачає установку в мобільній станції приймачів супутникового позиціонування. Метод позиціонування на основі ідентифікатора стільника оснований на використанні унікального ідентифікатора стільника Cell-ID в зоні покриття мережі мобільного зв'язку. Метод позиціонування за різницею моментів часу приходу сигналів (Time Difference Of Arrival, TDoA) оснований на вимірюваннях сигналу мобільної станції стаціонарними вимірювальними модулями, час появи сигналів на входах яких залежить від відстані до мобільної станції. Метод RSSI (Received Strength Signal Indication — індикація рівня прийнятого сигналу) визначає місце розташування об'єкта, визначаючи відстань до базової станції за потужністю прийнятого пілот-сигналу. Цей метод є майже неза-

лежним від відстані між базовою і мобільною станцією, що суттєво спрощує процедуру визначення координат мобільної станції.

Найбільшого застосування набули методи визначення відстані на основі вимірювання часу передачі сигналу від передавача до приймача RSSI та TDoA [7]. Так, у системах позиціонування, що працюють у режимі реального часу, застосовують метод визначення координат на основі результатів методів RSSI або TDoA та вимірювань відстані до трьох базових станцій, який називають трилатерацією. Метод трилатерації дозволяє досить просто і точно визначити координати мобільної станції. Недоліком цього методу є недостатньо висока точність визначення місця розташування мобільної станції при щільному розміщенні великої кількості мобільних станцій.

На базі відомих методів визначення відстані RSSI і TDoA будують алгоритми визначення координат. Суттєвою перевагою застосування методів RSSI і TDoA є те, що вони не потребують ані додаткового обладнання, ані додаткової обчислювальної потужності.

Але згідно з [7] точність визначення відстані методом RSSI — близько 3 метрів, що є недостатнім для розв'язання деяких практичних задач. Так, у роботах [8]—[10] для оптимізації методу RSSI пропонується застосовувати нейромереві технології.

Таким чином, *метою роботи* є обґрунтування методу визначення місцеположення мобільної станції, що передбачає використання нейромеревих технологій.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- обґрунтувати метод визначення місцеположення мобільної станції із застосуванням нейронної мережі;
- обґрунтувати архітектуру нейронної мережі;
- описати принципи запропонованого методу.

Розв'язання поставлених задач

Методи позиціонування на базі нейронних мереж ґрунтуються на вимірюванні рівнів сигналів від всіх найближчих точок доступу або базових станцій, координати яких є відомими. Після створення програмного або апаратного рішення нейронної мережі необхідно створити математичну модель позиціонування та виконати навчання мережі. Відомо багато математичних моделей, що можуть описати залежності між відстанню до об'єкта і рівнем сигналу, також можна розробити нову модель для конкретного випадку.

Отже, можна зробити висновок, що методи позиціонування мобільної станції з використанням штучних нейронних мереж можуть забезпечити достатньо високу точність.

Запропонований метод визначення місцеположення базується на значеннях величини RSSI, яка визначається так:

$$RSSI = -10n \cdot \log d + A,$$

де d — відстань, A — потужність передавача, n — постійна поширення сигналу, у вільному просторі $n = 2$.

Метод, оснований на застосуванні нейронних мереж, вимагає навчання мережі на досить великій вибірці, яка одержується на основі попереднього аналізу. Після цього, за умови успішного навчання, нейронна мережа може виконувати оцінку місця розташування мобільної станції. Отримана оцінка буде формуватися як оцінка координат місця знаходження станції.

Узагальнений алгоритм роботи системи визначення місця розташування на базі нейронної мережі може виглядати так:

- здійснюється попередній аналіз області локалізації;
- вибирається структура нейронної мережі і алгоритм її навчання;
- виконується навчання нейронної мережі на основі зібраних даних;
- навчена нейронна мережа тестується, перевіряється адекватність отриманих оцінок.

Зазвичай в якості нейронної мережі для просторової локалізації використовують багатошарові перцептрони з одним прихованим шаром. При цьому кількість вхідних нейронів пропорційна кількості антен у системі, а кількість вихідних нейронів пропорційна розмірності простору. В якості алгоритму навчання нейронної мережі найчастіше застосовують алгоритм зворотного поширення помилки.

Значення RSSI від декількох найближчих базових станцій (мінімум трьох) до шуканої мобільної станції надходить у нейронну мережу, на двох виходах якої після відповідного оброблення

з'являється значення координат (географічні широта та довгота) мобільної станції.

Пропонована нейронна мережа (рис. 1) є багатозаровим перцептроном — одним з найпростіших способів об'єднання нейронів у мережу. Вхідний шар складається з $k \leq 6$ нейронів $x_i, i = 1 \dots k$. Прихований шар складається з m нейронів $y_j, j = 1 \dots m$, причому $m = 2(k + p) + 1$. Вихідний шар складається з $p = 2$ нейронів $z_n, n = 1 \dots p$. Вхідні та приховані нейрони з'єднуються між собою синапсами з ваговими коефіцієнтами w_{ij} , приховані та вихідні нейрони з'єднуються між собою синапсами з ваговими коефіцієнтами v_{jn} . На входи нейронів вхідного шару надходять сигнали s_i , що є значеннями RSSI від базових станцій. Кожен вхідний нейрон x_i передає отримане значення, перемножене з відповідними ваговими коефіцієнтами, всім нейронам прихованого шару.

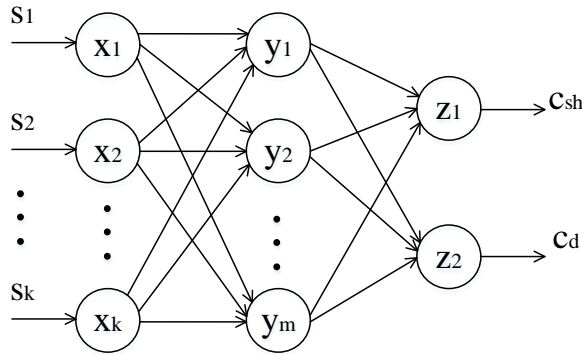


Рис. 1. Нейронна мережа

Запропонована нейронна мережа функціонує таким чином. Кожний прихований нейрон y_j додає отримані зважені значення $x_i w_{ij}$ та обчислює значення y_{js} за формулою

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

де w_{0j} — зміщення прихованого нейрона.

Значення функції активації для кожного прихованого нейрона обчислюється за формулою

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

У цьому випадку функція активації є функцією гіперболічного тангенсу, що обчислюється за формулою

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

Кожний вихідний нейрон z_n додає отримані значення та обчислює значення z_{nS} за формулою

$$z_{nS} = \sum_{j=1}^m y_j \cdot v_{jn} + v_{0n},$$

де v_{0n} — зміщення вихідного нейрона.

Значення функції активації, що є функцією гіперболічного тангенсу, для кожного вихідного нейрона обчислюється за формулою

$$z_n = f(z_{nS}).$$

Вихідними величинами вихідних нейронів є значення широти та довготи місця розташування мобільної станції, тобто

$$z_1 = c_{sh}; \quad z_2 = c_d.$$

Обидва вихідні нейрони обчислюють похибку з урахуванням еталонного вихідного значення t_n

$$\delta_n = (t_n - z_n) \cdot f'(z_{nS}),$$

корегування вагових коефіцієнтів: $\Delta v_{jn} = h \cdot \delta_n \cdot y_j$ та корегування зміщення: $\Delta v_{0n} = h \cdot \delta_n$,

де h — коефіцієнт навчання.

Приховані нейрони обчислюють сумарну похибку вихідних нейронів, яка надходить у j -прихований нейрон

$$\delta_{jS} = \sum_{n=1}^p \delta_n \cdot v_{jn},$$

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

$$w_{ij} = w_{ij} + \Delta w_{ij}; \quad v_{jn} = v_{jn} + \Delta v_{jn}.$$

Навчання нейронної мережі триває допоки не буде мінімізовано сумарну середньоквадратичну похибку

$$E_s = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^p \sum_{q=1}^L (z_n^q - t_n^q)^2,$$

де L — розмірність навчальної вибірки.

Висновки

Запропоновано метод позиціонування мобільних станцій систем стільникового зв'язку, який передбачає застосування штучної нейронної мережі для встановлення відповідності між отриманими значеннями рівнів прийнятих сигналів від базових станцій та географічними координатами місця розташування шуканої мобільної станції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. В. А. Власова, «Аспекты позиционирования в сенсорных сетях,» *Технологический аудит и резервы производства*, т. 4, № 1 (6), с. 3-4, 2012.
2. Б. Джарел, «Определение положения устройства стандарта ZigBee,» *Беспроводные технологии*, № 4, с. 46-48, 2007.
3. А. Н. Волков, М. А. Сиверс, и В. А. Сухов, «Позиционирование в сетях Wi-Fi,» *Вестник связи*, № 11, с. 28-33, 2010.
4. В. В. Дудник, «Алгоритмы определения положения в локальных беспроводных сетях,» *Молодежный научно-технический вестник МГТУ им. Баумана*, № 4, с. 20-26, 2012.
5. С. В. Смоленцев, «Определение координат мобильных абонентов в сетях сотовой связи стандарта GSM,» *Гироскопия и навигация*, № 4, с. 41-54, 2006.
6. В. Бабков, и А. Степутин, «Позиционирование абонентов в системах мобильной связи третьего поколения,» *Мобильные телекоммуникации*, № 3, с. 8-15, 2008.
7. П. В. Галкин, «Модель определения координат узлов беспроводной сенсорной сети,» *Проблемы телекоммуникаций*, № 1 (16), с. 16-41, 2015.
8. Shashank Mishra1, and G. S. Tripathi, "Comparison of Various Neural Network Algorithms Used for Location Estimation in Wireless Communication," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, v. 2, no. 6, June, 2013.
9. Zhenkai Zhang, Feng Jiang, Boyuan Li, and Bing Zhang, "A novel time difference of arrival localization algorithm using a neural network ensemble model," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, v. 14 (11), 2018. DOI: 10.1177/1550147718815798.
10. Zhao Ping, Li Ling-yan, and Shi Hao-shan, "A Hybrid Location Algorithm Based on BP Neural Networks for Mobile Position Estimation," *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, v. 6, no. 7A, July, 2006.

Рекомендована кафедрою радіотехніки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 30.07.2019

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

Семенов Андрій Олександрович — д-р техн. наук, доцент, професор кафедри радіотехніки, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. O. Semenova¹
A. O. Semenov¹

Using Neural Networks for Mobile Station Location Estimation

¹Vinnitsia National Technical University

Positioning functions, which are automatic positioning of subscribers within cellular networks, are required for mobile communication systems of all generations. However, when new generation networks are implemented, high accuracy of determining mobile station geographical coordinates is required for development of services related to subscribers' location. To solve the task of mobile station positioning its geographical coordinates are calculated in regard to the known coordinates of base stations. The paper proposes to use a neural network for improving the effectiveness of positioning a mobile station of a cellular communication system. Positioning methods providing usage of neural networks are based on measurements of levels for signals from base stations whose coordinates are known or all the nearest access points.

After creating a software or hardware solution for the artificial neural network, one has to create a mathematical model for positioning and perform the network training procedure. The proposed localization method is based on RSSI values. The advantage of the RSSI method is that it requires no additional hardware or computing power. The disadvantage of the RSSI method is the lack of accuracy. Thus, the aim of this paper is to develop an optimized method for determining mobile station location. According to the proposed method, RSSI values from several (at least three) closest base stations to a mobile station enter the neural network, after corresponding processing; the coordinates (latitude and longitude) of the mobile station appear at two outputs. The proposed neural network is a multilayer perceptron. The article 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: mobile station, positioning, neural network, multilayer perceptron.

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

Semenov Andrii O. — Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Chair of Radio-Frequency Engineering, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

Е. А. Семёнова¹
А. А. Семёнов¹

Применение нейронных сетей для определения местоположения мобильной станции

¹Винницкий национальный технический университет

Для систем мобильной связи всех поколений необходимы функции позиционирования, то есть автоматическое определение местоположения абонентов в пределах сетей сотовой связи. Однако, при внедрении сетей новых поколений, для развития услуг, связанных с местоположением абонентов, необходима высокая точность определения географических координат мобильных станций. Для решения задачи позиционирования мобильной станции выполняется вычисление ее географических координат относительно известных координат базовых станций. В работе предложено использовать нейронную сеть для повышения эффективности определения местоположения мобильной станции системы сотовой связи. Методы позиционирования, которые предусматривают использование нейронных сетей, базируются на измерениях уровней сигналов от базовых станций, координаты которых известны или от всех ближайших точек доступа. После создания программного или аппаратного решения искусственной нейронной сети необходимо разработать математическую модель позиционирования и выполнить процедуру обучения сети. Предлагаемый метод определения местоположения базируется на значениях величины RSSI. Преимуществом метода RSSI является то, что он не требует ни дополнительного оборудования, ни дополнительной вычислительной мощности. Недостатком метода RSSI является недостаточная точность. Таким образом, целью работы является разработка оптимизированного метода определения местоположения мобильной станции. Согласно предложенному методу, значения RSSI от нескольких ближайших базовых станций (минимум трех) до искомой мобильной станции поступают в нейронную сеть, на двух выходах которой после соответствующей обработки появляются значения координат (широта и долгота) мобильной станции. Предлагаемая нейронная сеть представляет собой многослойный персептрон. В статье приведена разработанная схема многослойного персептрона. Обоснованно количество нейронов во всех слоях персептрона. Описана работа многослойного персептрона.

Ключевые слова: мобильная станция, позиционирование, нейронная сеть, многослойный персептрон.

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

Семёнов Андрей Александрович — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры радиотехники, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua