

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Петрова Ольга Анатоліївна

УДК 004.9

**ДИСЕРТАЦІЯ
ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ
СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ТА НАВІГАЦІЇ ВСЕРЕДИНІ
ПРИМІЩЕННЯ**

05.13.06 Інформаційні технології

Подається на здобуття ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

О.А. Петрова

Науковий керівник:
кандидат технічних наук, доцент Г.В. Табунщик

Запоріжжя – 2020

АНОТАЦІЯ

Петрова О.А. Інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Національний університет «Запорізька політехніка», 2020.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової задачі – підвищенню надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення, за рахунок використання бездротових систем передачі даних та методів верифікації вбудованих систем.

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, яка підкреслює її актуальність, відповідність науковим темам, наукову новизну та практичне значення, визначено предмет та об'єкт дослідження, сформульовано мету та задачі дослідження.

У **першому** розділі (*Аналіз засобів та методів забезпечення надійності систем навігації всередині приміщення*) проведений аналіз систем позиціонування та навігації всередині приміщення на основі різних технологій таких як: Wi-Fi, Bluetooth, RFID, мобільні мережі. Були виділені основні їх недоліки. Було проведено класифікацію та аналіз параметрів надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення: параметри безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, зберігання.

Після аналізу методів оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення було визначено ряд задач, які необхідно вирішити для підвищення точності та надійності. Основними задачами є забезпечення точності визначення координат, швидкості оброблення даних і коректність побудови маршруту. Для забезпечення параметрів надійності таких

як параметри безвідмовності та зберігання було використано верифікацію систем.

Розглянуто алгоритми для побудови оптимального маршруту: алгоритм Дейкстри, пошук в ширину, алгоритм пошуку A *, алгоритм пошуку з ітеративним поглибленням IDA , пошук точки стрибка. Після аналізу алгоритмів був обраний найоптимальніший за часом та витратою пам'яті – пошук точки стрибка (JPS).

Для оброблення даних та прибирання шуму і зайвої інформації був обраний фільтр Калмана.

Був проведений аналіз існуючих програмних комплексів для оцінювання надійності та виділені їх недоліки: обмеженість логічної бази графічних і аналітичних засобів, відсутність адаптації для оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення, орієнтація на специфічне апаратне забезпечення, відсутність інтеграції з іншими системами.

Враховуючи вищеперераховане, були поставлені завдання для подальшої роботи.

У **другому** розділі (*Розроблення моделі і методу для підвищення достовірності визначення поточного розташування для систем позиціонування та навігації всередині приміщення*) розглянуто способи отримання даних про поточне положення з використанням різних способів: за сигналом RSSI, за трьома точками та показниками акселерометра та гіроскопа.

Для відображення положення на карті необхідно мати картографічне представлення приміщення із зазначенням становища кожного iBeacon-маячка і мати можливість прокласти маршрут. Для цього був використаний алгоритм для пошуку найкоротшого шляху через дві точки під назвою Jump Point Search.

Отримав подальшого розвитку метод корегування маршруту, який на відміну від існуючих, використовує фільтр Калмана та метод стрибкових точок, що дозволяє проводити перевірку похибки карти з рівнем помилки до 4.7%.

Була побудована акустична модель, яка може розпізнавати мовні сигнали. Також була побудована модель голосової навігаційної системи, в якій показано етапи роботи голосового навігатора, починаючи з вхідного повідомлення та його перетворення і до моменту побудови маршруту. Удосконалено модель голосової навігаційної системи за рахунок використання методу голосової навігації, що дозволяє використовувати голосові команди для формування вхідних та вихідних параметрів систем позиціонування та навігації всередині приміщення.

Розроблено інтегрований метод визначення поточного положення на карті приміщення, заснований на аналізі сигналу від iBeacon і акселерометра, модифікований методом Калмана, що дозволяє оперативно корегувати значення поточного положення і дозволяє зменшити похибку на 3%.

Одним з найважливіших завдань, що вирішуються при створенні систем позиціонування і навігації всередині приміщення – є забезпечення їх якості. Розроблений метод дозволяє підвищити точність, однак одним із ефективних способів покращення якості є верифікація. Тому була поставлена задача розроблення власного методу верифікації.

У **третьому** розділі (*Розроблення методу і моделі верифікації для систем позиціонування і навігації всередині приміщення*) побудована нейро-нечітка модель, яка представлена у вигляді багат шарової нейронної мережі, кожен шар якої відповідає за певний крок алгоритму логічного висновку. Використання даної моделі дозволяє здійснити можливість витягу бази даних знань в цілому, що робить реалізацію більш гнучкою.

Були виділені критерії верифікації системи: метрика евклідових просторів, метрика простору Маньківського, коефіцієнт надійності на основі резервних копій, похибка визначення координат фільтром Калмана, похибка визначення кутів, показник прискорення згідно акселерометру, швидкість накопичення помилок, визначення координат, лінгвістичні змінні.

Розроблено метод верифікації систем позиціонування та навігації всередині приміщення на основі нейронних мереж Кохонена та нечіткої логіки,

яка, на відміну від існуючих, дозволяє вибрати набір вирішальних правил, перебудувати структуру при донавчанні, використовувати лінгвістичні правила.

Даний метод був перевірений за допомогою програмно-апаратного комплексу LabView 2012. Для формування вхідних даних був використаний інтегрований метод визначення поточного положення. Для порівняння було проведено експеримент, який складається з двох верифікаторів. Один – заснований на картах Кохонена, а другий – заснований на нейро-нечіткій мережі, за допомогою перемикача можна обирати необхідний. Після побудови і навчання нейро-нечіткої моделі на виході отримуємо помилку поточного положення, порівнюючи отримане значення і контрольне. У нашому прикладі вона становить від 0.47% до 0.7%.

У **четвертому** розділі (*Розроблення інформаційної технології оцінки надійності систем позиціонування і навігації всередині приміщення*) розроблено інформаційну технологію, яка дозволяє отримувати вхідні дані за допомогою: BLE 4.0, картографічного представлення, відео, інерційної навігації та голосових повідомлень. Далі можливо визначити поточне положення та виконати верифікацію поточного стану системи навігації всередині приміщення.

Отримав подальшого розвитку метод оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення за рахунок використання інтегрованого методу визначення поточного положення та методу нейро-нечіткої верифікації, що дозволяє провести оцінювання імовірності безвідмовної роботи систем позиціонування та навігації всередині приміщення.

Інформаційна технологія формує дані для оцінювання метрик надійності на основі даних отриманих інтегрованим методом визначення поточного розташування та нейро-нечіткого методу верифікації.

Основний науковий результат полягає у вирішенні науково-практичного завдання – підвищення надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення. Розроблений навігатор, інтегрований в мобільний застосунок

системи Smart-Campus, що забезпечує підтримку студентів, співробітників і відвідувачів університету. Впровадження голосового навігатора дозволяє полегшити адаптацію людей з вадами зору до соціальних пілг. Використання голосу для навігаційних систем дозволяє користувачам з обмеженими можливостями забезпечити доступ до інформації в навігаційних системах; взаємопов'язувати багато об'єктів і подій.

У додатках наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, перелік публікацій за темою дисертації.

Ключові слова: BLE, RSSI, Beacon, інформаційна технологія, indoor-навігація, визначення поточного положення, верифікація, надійність, системи реального часу, параметри надійності.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці в спеціалізованих виданнях з переліком наукометричних баз, де вони проіндексовані:

1. Петрова О. А. Метод определения текущего расположения в системах позиционирования и навигации внутри помещения / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик Дирк Ван Мероде // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2017. – № 25. – С. 270-278. DOI: <http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.25.101.2017.31>;

внесок автора: розроблено інтегрований метод визначення поточного положення; **база (и):** *Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals Directory, РИНЦ, Реферативний журнал ВІНІТІ, Україніка наукова, Google Scholar.*

2. Петрова О. А. Метод визначення заданого розташування всередині приміщення при використанні голосових команд/ О. А. Петрова, Г. В. Табунщик // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2019. – № 37(107). – С.87-94;

внесок автора: запропоновано метод голосової навігації для визначення заданого розташування всередині приміщення; **база (и):** *Index Copernicus*

International, Ulrich's Periodicals Directory, РИИЦ, Реферативний журнал ВІНТИ, Україніка наукова, Google Scholar.

3. Петрова О. А. Інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик. // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2018. – №6. – С. 125–129; **внесок автора:** запропоновано інформаційну технологію оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення; **база (и):** *Index Copernicus International, Google Scholar.*

4. Петрова О. А. Дослідження ефективності пошукових алгоритмів для систем навігації всередині приміщення / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” (ІКОТ-2017). – Покровськ: ДВНЗ “ДонНТУ”. – 2018. – №1 (24). – С. 80-84; **внесок автора:** проведено дослідження алгоритмів пошуку найоптимальнішого маршруту; **база (и):** *Crossref, Index Copernicus, Google Scholar.*

5. Петрова, О. А. Метод нейро-нечеткой верификации систем позиционирования и навигации внутри помещения / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик, Т. И. Каплиенко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” (ІКОТ-2017). – Покровськ: ДВНЗ “ДонНТУ”. – 2017. – №2 (25). – С. 84-89; **внесок автора:** розроблення методу нейро-нечіткої верифікації систем позиціонування та навігації всередині приміщення; **база (и):** *Crossref, Index Copernicus, Google Scholar.*

6. Петрова О. А. Информационная система для исследования надежности систем позиционирования и навигации внутри помещения / Петрова О. А., Табунщик Г. В. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” (ІКОТ-2016). – Покровськ: ДВНЗ “ДонНТУ”. – 2016. – №2 (23). – С. 125-130; **внесок автора:** запропоновано інформаційну технологію дослідження

надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення; **база (и):** *Crossref, Index Copernicus, Google Scholar*.

7. Petrova O. Modelling of location detection for indoor navigation systems / O. Petrova, G. Tabunshchuk, // *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: 9th International Conference, Romania, 21-23 September 2017: proceedings.* – Bucharest: IEEE, 2017. – P. 961-964. DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095229, INSPEC Accession Number: 17320244; **внесок автора:** розроблення методу визначення місцезнаходження для внутрішніх навігаційних систем; **база (и):** *Web of Science, SCOPUS, IEEE*.

8. Petrova O. Method of Audio Interaction with Indoor Navigation Systems / O. Petrova, G. Tabunshchuk. // *The 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) 18-21 September, 2019, Metz, France.* – 2019. P. 184-188; **внесок автора:** запропоновано метод голосової навігації для визначення заданого розташування всередині приміщення; **база (и):** *Web of Science, SCOPUS, IEEE*.

9. Petrova O. Fuzzy verification method for indoor-navigation systems / O. Petrova, G. Tabunshchuk, T. Kapliienko, O. Kapliienko // *Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET): 14th International Conference, Ukraine, 20-24 February 2018, Lviv-Slavske: IEEE, 2018.* – P. 65-68, DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336157 **внесок автора:** удосконалення методу нейро-нечіткої верифікації систем позиціонування та навігації всередині приміщення; **база(и):** *Web of Science, SCOPUS, IEEE*.

10. Petrova O. Investigation of real-time systems reliability characteristics / O. Petrova, G. Tabunshchuk // *Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: VIII Міжнародна науково-практична конференція, Запоріжжя, 21–23 вересня 2016 р, тези доповідей.* – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – С. 277-278; **внесок автора:** дослідження параметрів надійності систем реального часу.

11. Петрова О. А. Надежность систем навигации внутри помещения / О. А. Петрова , Г. В. Табунщик // IX Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» Запоріжжя, 2018 р, тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ, 03-05 жовтня 2018. – С. 141-143. **внесок автора:** розроблення інформаційної технології оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення.

12. Tabunshchuk G. Multipurpose Educational System based on Raspberry Pi / G. Tabunshchuk, D. Van Merode , O.Petrova, V. Okhmak // Proceedings of the International Symposium on Embedded Systems and Trends in Teaching Engineering, Nitra, Slovakia, 12-15 September 2016: proceedings. – Nitra, 2016. – P. 202-206; **внесок автора:** розроблення моделі діагностики систем з обмеженими ресурсами; **база(и):** *IEEE*.

13. Петрова О. А. Установка для испытания снаряжения для защиты от падения на базе микропроцессора Arduino / О. А. Петрова, Р. А. Фролов, Г. В. Табунщик, М. В Сидоренко // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: XII Международная научная конференция (ISDMCI'2016). – Железный Порт, 22–26 мая 2017: тезисы доклада. – Железный Порт, 2016. – С. 144-145; **внесок автора:** дослідження характеристик акселерометра з використанням Labview; **база (и):** *Web of Science*.

14. Petrova O. Implementation of Audio Navigation for Smart Campus/ O. Petrova, G.Tabunshchuk, P.Arras //Proceedings of the Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019), Zaporizhzhia, Ukraine, April 15-19, 2019. С. 267-276; **внесок автора:** розроблення методу голосової навігації; **база (и):** *Web of Science, SCOPUS, IEEE, DBLP*.

ABSTRACT

Petrova O. A. The information technology of assessment of the reliability of indoor navigation systems. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

The thesis for a Degree of Candidate of Science PhD in specialty 05.13.06 – Information Technology. – National University "Zaporizhia Polytechnic", 2020.

The research is devoted to solving an actual scientific task – to improve the reliability of indoor navigation systems, by implementation of wireless data transmission systems and methods of verification of embedded systems.

The **introduction** provides a general description of the work, which emphasizes its actuality, relevance to the scientific topics, scientific novelty and practical significance. The object and the subject of the research are defined, the purpose and objectives of the research are formulated.

In the **first chapter "Analysis of approaches and methods of the reliability assurance of the indoor navigation systems"** there is conducted of analyzes there conduction the indoor navigation systems based on various technologies such as: Wi-Fi, Bluetooth, RFID, mobile networks. The main disadvantages of these technologies were highlighted. The classification and analysis of the reliability parameters of the indoor navigation systems were carried out: characteristics of reliability, durability, maintainability, storage.

After methods for assessing the reliability of indoor navigation systems, have been defined the classes of tasks that need to be addressed to improve accuracy and reliability was identified. The main taskst to improve are accuracy of coordinate determination, speed of data processing and determination of correct route. In the worst there will be used system verification to ensure the integrity and storage characteristics.

The algorithms for constructing the optimal route are considered: Dijkstra algorithm, width search, A * search algorithm, IDA iterative search algorithm, jump point search. After the analysis of algorithms was select search of jump point (JPS) methods as the most optimal at times and by the cost of memory.

A Kalman filter was selected to process the data and clear the noise and unnecessary information.

The analysis of the existing software complexes for reliability estimation and their disadvantages were highlighted: the limitations of the logical base of graphical and analytical tools, not every software complex could be used for evaluating the reliability of indoor navigation systems, orientation to the specific equipment, lack of integration with other systems.

Taken into the consideration the above, tasks for the further work were set.

In the **second chapter "The development of the model and method for improving the accuracy of the current location detection for the indoor navigation systems"** there is provided information on the current position detection by using various methods: RSSI signal, three points, accelerometer and gyroscope.

To display the correct position on the map, it is necessary to have a mapping of the room to the specified position of each iBeacon beacon and to be able to deploy the route. For this, purpose there were used an algorithm to find the shortest path through two points called Jump Point Search.

The route correction method was modified, which, unlike to the existing ones, uses a Kalman filter and a jump point method, which allows checking the error variation location on the map with the error level 4.7%.

An acoustic model was developed that can recognize speech signals. A model of voice navigation system was also constructed, which shows the stages of voice navigator operation, starting from the incoming message and its transformation until the moment of route construction. Improved voice navigation model by usage of the voice navigation method, which make it possible for user to use voice commands to generate input and output data for indoor navigation systems.

An integrated method of determining the current position on the map of the building, based on the analysis of the signal from iBeacon and accelerometer, modified by the Kalman filter, which promptly correct the value of the current location and reduce the error by 3%.

One of the most important tasks to be solved in the creation of indoor navigation systems is to ensure their quality. The developed method allows to increase the accuracy, but one of the effective tools which helps to improve quality is verification. Therefore, there was set a task to develop own verification method.

In the **third chapter "Developing a verification method and model for indoor navigation systems"**, there was build a neural-fuzzy system, which is represented as a multilayered neural network, each layer responsible for a specific step of the logical inference algorithm. The usage of this model makes it possible to extract the knowledge base as a whole, which makes the implementation more flexible.

The system verification criteria were distinguished: Euclidean space metric, Mankovsky space metric, backup reliability factor, Kalman filter error, angles determination, accelerometer acceleration, coordinate acceleration errors, ling errors.

The method of verification of indoor navigation systems is developed on the basis of Kohonen neural networks and fuzzy logic, which, unlike the existing ones, allows to choose a set of decisive rules, rebuild the structure at retraining, use linguistic rules.

This method was tested by using the LabView 2012 software. To use the data, a variety of current state methods were used. For comparison, an experiment consisting of two verifiers was conducted. One is based on Kohonen's maps and the other is based on a neural network, using the switch you can select the one you want. After building and learning a neural-fuzzy model on the output, we get an error where you are, comparing the value obtained and the control. In our example, it ranges from 0.7% to 0.47%.

In the **fourth chapter "Development of the information technology for reliability assessment of the indoor navigation systems "**, information technology is developed that could receive input data by using: BLE 4.0, map representation, video, inertial navigation and voice messaging. It is then possible to determine the current position and verify the current state of the indoor system

The method of the reliability assessment of indoor navigation systems is modified by the usage of the integrated method of determining the current position and the method of neuro-fuzzy verification, which allows to evaluate the probability of trouble-free operation of indoor navigation systems.

Information technology generates data to evaluate reliability metrics based on data obtained by the integrated method current location determination and the neuro-fuzzy verification method.

The main scientific result of the research aimed to solve the scientifically practical problem of improving the reliability of indoor navigation systems. Developed navigator integrated into the mobile application of the Smart-Campus system, which provides support for students, staff and visitors to the University. The introduction of the voice navigator makes it easier for people with visual impairments to adapt to social benefits. Usage voice for the navigation systems allows users with disabilities to access information on navigation systems; many objects and events are interconnected.

The annexes include acts of implementation of the results of the dissertation, a list of publications on the topic of the dissertation.

Keywords: BLE, RSSI, Beacon, information technology, indoor navigation, current position determination, verification, reliability, real-time systems, reliability characteristic.

BASIC SCIENTIFIC RESULTS OF DISSERTATION.

1. Петрова О. А. Метод определения текущего расположения в системах позиционирования и навигации внутри помещения / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик Дирк Ван Мероде // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. – 2017. – № 25. – С. 270-278. DOI: <http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.25.101.2017.31>; **внесок автора:** розроблено інтегрований метод визначення поточного положення; **база (и):** *Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals Directory, РИИЦ, Реферативний журнал ВІНІТІ, Україніка наукова, Google Scholar.*

2. Петрова О. А. Метод визначення заданого розташування всередині приміщення при використанні голосових команд/ О. А. Петрова, Г. В. Табунщик // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2019. – № 37(107). – С.87-94; **внесок автора:** запропоновано метод голосової навігації для визначення заданого розташування всередині приміщення; **база (и):** *Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals Directory, РИНЦ, Реферативний журнал ВІНТИ, Україніка наукова, Google Scholar.*

3. Петрова О. А. Інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик. // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2018. – №6. – С. 125–129; **внесок автора:** запропоновано інформаційну технологію оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення; **база (и):** *Index Copernicus International, Google Scholar.*

4. Петрова О. А. Дослідження ефективності пошукових алгоритмів для систем навігації всередині приміщення / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” (ІКОТ-2017). – Покровськ: ДВНЗ “ДонНТУ”. – 2018. – №1 (24). – С. 80-84; **внесок автора:** проведено дослідження алгоритмів пошуку найоптимальнішого маршруту; **база (и):** *Crossref, Index Copernicus, Google Scholar.*

5. Петрова, О. А. Метод нейро-нечеткой верификации систем позиционирования и навигации внутри помещения / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик, Т. И. Каплиенко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” (ІКОТ-2017). – Покровськ: ДВНЗ “ДонНТУ”. – 2017. – №2 (25). – С. 84-89; **внесок автора:** розроблення методу нейро-нечіткої верифікації систем позиціонування та навігації всередині приміщення; **база (и):** *Crossref, Index Copernicus, Google Scholar.*

6. Петрова О. А. Информационная система для исследования надежности систем позиционирования и навигации внутри помещения / Петрова О. А., Табунщик Г. В. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” (ІКОТ-2016). – Покровськ: ДВНЗ “ДонНТУ”. – 2016. – №2 (23). – С. 125-130; **внесок автора:** запропоновано інформаційну технологію дослідження надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення; **база (и):** *Crossref, Index Copernicus, Google Scholar*.

7. Petrova O. Modelling of location detection for indoor navigation systems / O. Petrova, G. Tabunshchuk, // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: 9th International Conference, Romania, 21-23 September 2017: proceedings. – Bucharest: IEEE, 2017. – P. 961-964. DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095229, INSPEC Accession Number: 17320244; **внесок автора:** розроблення методу визначення місцезнаходження для внутрішніх навігаційних систем; **база (и):** *Web of Science, SCOPUS, IEEE*.

8. Petrova O. Method of Audio Interaction with Indoor Navigation Systems / O. Petrova, G. Tabunshchuk. // The 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) 18-21 September, 2019, Metz, France. – 2019. P. 184-188; **внесок автора:** запропоновано метод голосової навігації для визначення заданого розташування всередині приміщення; **база (и):** *Web of Science, SCOPUS, IEEE*.

9. Petrova O. Fuzzy verification method for indoor-navigation systems / O. Petrova, G. Tabunshchuk, T. Kapliienko, O. Kapliienko // Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET): 14th International Conference, Ukraine, 20-24 February 2018, Lviv-Slavske: IEEE, 2018. – P. 65-68, DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336157 **внесок автора:** удосконалення методу нейро-нечіткої верифікації систем позиціонування та навігації всередині приміщення; **база(и):** *Web of Science, SCOPUS, IEEE*.

10. Petrova O. Investigation of real-time systems reliability characteristics / O. Petrova, G. Tabunshchuk // Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: VIII Міжнародна науково-практична конференція, Запоріжжя, 21–23 вересня 2016 р, тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – С. 277-278; **внесок автора:** дослідження параметрів надійності систем реального часу.

11. Петрова О. А. Надежность систем навигации внутри помещения / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик // IX Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» Запоріжжя, 2018 р, тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ, 03-05 жовтня 2018. – С. 141-143. **внесок автора:** розроблення інформаційної технології оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення.

12. Tabunshchuk G. Multipurpose Educational System based on Raspberry Pi / G. Tabunshchuk, D. Van Merode, O. Petrova, V. Okhmak // Proceedings of the International Symposium on Embedded Systems and Trends in Teaching Engineering, Nitra, Slovakia, 12-15 September 2016: proceedings. – Nitra, 2016. – P. 202-206; **внесок автора:** розроблення моделі діагностики систем з обмеженими ресурсами; **база(и):** *IEEE*.

13. Петрова О. А. Установка для испытания снаряжения для защиты от падения на базе микропроцессора Arduino / О. А. Петрова, Р. А. Фролов, Г. В. Табунщик, М. В. Сидоренко // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: XII Международная научная конференция (ISDMCI'2016). – Железный Порт, 22–26 мая 2017: тезисы доклада. – Железный Порт, 2016. – С. 144-145; **внесок автора:** дослідження характеристик акселерометра з використанням Labview; **база (и):** *Web of Science*.

14. Petrova O. Implementation of Audio Navigation for Smart Campus/ O. Petrova, G. Tabunshchuk, P. Arras // Proceedings of the Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019),

Zaporizhzhia, Ukraine, April 15-19, 2019. С. 267-276; **внесок автора:** розроблення методу голосової навігації; **база (и):** *Web of Science, SCOPUS, IEEE, DBLP*.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	21
ВСТУП.....	22
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ ВСЕРЕДИНИ ПРИМІЩЕННЯ.....	28
1.1 Аналіз архітектури систем навігації всередині приміщення	29
1.2. Аналіз методів оцінювання надійності систем навігації і моделей верифікації систем реального часу.....	34
1.2.1 Класифікація параметрів надійності систем навігації всередині приміщення	35
1.2.2 Аналіз методів оцінювання надійності систем навігації	40
1.3. Аналіз методів визначення та верифікації поточного положення систем позиціонування та навігації всередині приміщення.	42
1.3.1. Аналіз нейронних мереж для завдань верифікації систем позиціонування та навігації всередині приміщення	42
1.3.2 Дослідження ефективності пошукових алгоритмів для систем позиціонування та навігації всередині приміщення	44
1.3.3 Методи оцінювання координат в реальному часі	48
1.4. Аналіз існуючих програмних комплексів.....	50
1.4.1 Аналіз існуючих програмних комплексів оцінювання надійності систем навігації	50
1.4.2 Аналіз галузей використання системи навігації всередині приміщення ...	52
1.5 Висновки до розділу 1 і постановка задачі дослідження.....	54
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ І МЕТОДУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ПОТОЧНОГО РОЗТАШУВАННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ТА НАВІГАЦІЇ ВСЕРЕДИНИ ПРИМІЩЕННЯ	57
2.1 Розроблення інтегрованого методу визначення поточного місця розташування	57

2.1.1 Отримання вихідних параметрів для визначення поточного розташування всередині приміщення	57
2.1.2 Метод визначення маршруту при переміщенні всередині приміщення	60
2.2 Розроблення моделі обробки голосової навігації в СПНВП	64
2.3. Інтегрований метод визначення поточного положення	69
2.4. Дослідження інтегрованого методу визначення поточного положення всередині приміщення	71
2.5 Висновки до розділу 2.....	72
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ І МОДЕЛІ ВЕРИФІКАЦІЇ ДЛЯ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ І НАВІГАЦІЇ ВСЕРЕДИНИ ПРИМІЩЕННЯ	74
3.1 Модель навігаційної системи.....	74
3.2 Нейро-нечіткий метод верифікації систем навігації з використанням самоорганізованих карт Кохонена.....	75
3.3 Дослідження моделі нейро-нечіткої верифікації систем позиціонування і навігації всередині приміщення.....	82
3.4 Висновки до розділу 3.....	88
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ І НАВІГАЦІЇ ВСЕРЕДИНИ ПРИМІЩЕННЯ	89
4.1 Інформаційна технологія оцінювання надійності системи позиціонування та навігації всередині приміщення.....	90
4.2 Приклад реалізації інтегрованого методу визначення поточного місця положення для системи SMART-CAMPUS.....	100
4.3 Висновки до розділу 4.....	107
ВИСНОВКИ.....	109
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	113
ДОДАТОК А – АКТИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	127

ДОДАТОК Б – ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ.....	133
ДОДАТОК В – МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ТА НАВІГАЦІЇ ВСЕРЕДИНІ ПРИМІЩЕННЯ	137
ДОДАТОК Г – ПРОЦЕС ВЕРИФІКАЦІЇ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ НА ОСНОВІ ЧАСОВИХ АВТОМАТІВ	144
ДОДАТОК Д – ПОБУДОВА МОДЕЛІ НА ОСНОВІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	151
ДОДАТОК Е – ПОНЯТТЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ. ВИДИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	159
ДОДАТОК Є – СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА.....	164

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БД – база даних;

ДВ – дерево відмов;

ДП – дерево подій;

ІНС – інерційна навігаційна система;

ІТ – інформаційна технологія;

ІТОН СПНВП – інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення;

МПВ – мінімальні перетини відмов;

НМ – нейрона мережа;

НШУФ – найкоротший шлях успішного функціонування;

ПЗ – програмне забезпечення;

СПНВП – системи позиціонування та навігації всередині приміщення;

BFS – Breadth-First Search;

BLE – Bluetooth Low Energy;

Bluetooth - технологія бездротового зв'язку;

LabView - Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench;

GPS – Global Positioning System;

IDA – Iterative-Deepening A;

JPS – Jump Point Search;

RSSI – received signal strength indicator;

Wi-Fi - Wireless Fidelity.

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасному світі все більшої популярності набувають технології позиціонування та навігації. Дані технології дозволяють орієнтуватися в великих приміщеннях та визначати поточне місце положення. Основні групи технологій, що використовуються для створення систем навігації, діляться на стандартні технології передачі даних (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee) і на ті, які, виходячи з фізичних властивостей модуляції, найбільш підходять для вимірювання відстаней (CSS/ISO24730-5, UWB, ISO24730-2, NFER та інші). Також до технологій, що використовують для завдань позиціонування, можна віднести використання мобільних мереж.

Важливою проблемою систем позиціонування та навігації є надійність, тобто властивість системи зберігати працездатність в заданих умовах функціонування. Низький рівень надійності системи може призвести до значних витрат на ремонт, простоїв, аварій. Покращити надійність можливо за рахунок додаткового та більш вартісного обладнання. Але в сучасних економічних умовах важливим завданням є зменшення собівартості та розмірів сучасного обладнання. При використанні систем позиціонування та навігації всередині приміщення (СПНВП) виникають проблеми точності визначення координат, швидкості оброблення даних і визначення коректного маршруту. Точність визначення поточного положення впливає на коректність роботи системи. Одним із засобів підвищення точності позиціонування та навігації всередині приміщення є використання картографічного представлення приміщення. Однак робота з картами є дуже ресурсоємким процесом, тому необхідно дослідити засоби роботи з картами та методи генерації маршрутів.

Задачі надійності систем позиціонування та навігації розглядалися в роботах: Уоттерса Р. [1], Демпстера Е. Г. [2], Гапанюка Ю. Е. [3], Благодатських В. А. [4], Полонікова Р. І. [5], Хетча С [6].

Завдання верифікації систем позиціонування та навігації розглядалися в роботах: Харченка В. С. [7], Бінгао Лі [8], Гаврилова А. В. [9], Маєвського Д. А [10].

Завдання порівняння і вибору технологій розглядалися в роботах: Різоса К. [11], Маутца Р. [12], Щекотова М. С [13].

Однак в вищезгаданих роботах не розглянуті питання визначення поточного положення і верифікації системи з урахуванням особливостей доступних вихідних даних навігаційних систем всередині приміщення.

Оскільки останнім часом все більше отримують розвиток системи навігації всередині приміщення на основі мобільних застосунків, що знаходять розповсюдження в різних галузях застосовування, актуальним є розроблення інформаційної технології оцінювання надійності систем позиціонування навігації всередині приміщення (ІТОН СПНВП) для систем з обмеженими ресурсами.

Мета та задачі дослідження. Мета дослідження полягає в підвищенні надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення за рахунок використання бездротових систем передачі даних короткого діапазону для визначення поточного положення та методів верифікації вбудованих систем.

Відповідно до мети роботи були визначені актуальні завдання:

- провести аналіз засобів та методів забезпечення надійності СПНВП
- розробити модель та метод для підвищення достовірності поточного розташування для СПНВП.
- розробити метод і модель верифікації для СПНВП.
- розробити та провести апробацію інформаційної технології оцінювання надійності СПНВП.

Об'єкт дослідження – процес оцінювання надійності вбудованих систем.

Предмет дослідження – методи та інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення.

Наукова новизна в ході дослідження отримані такі результати:

1. **Вперше** розроблено модель верифікації СПНВП на основі нейронних мереж Кохонена та нечіткої логіки, яка, на відміну від існуючих дозволяє вибирати набір вирішальних правил, перебудовувати структуру при донавчанні, використовувати лінгвістичні правила.

2. **Вперше** розроблено інтегрований метод визначення поточного положення на карті приміщення, заснований на аналізі сигналу від iBeacon і акселерометра, модифікований методом Калмана, що дозволяє оперативно коригувати значення поточного положення і дозволяє зменшити похибку на 3%.

3. **Удосконалено** модель СПНВП за рахунок методу голосової навігації, який на відміну від існуючих дозволяє використовувати голосові команди та нечіткі правила для знаходження заданого розташування.

4. **Отримав подальшого розвитку** метод корегування маршруту, який на відміну від існуючих використовує фільтр Калмана та метод стрибкових точок, що дозволяє проводити перевірку з рівнем помилки до 0.47%.

5. **Отримав подальшого розвитку** метод оцінювання надійності СПНВП за рахунок використання інтегрованого методу визначення поточного положення та методу нейро-нечіткої верифікації, що дозволяє провести оцінювання імовірності безвідмовної роботи СПНВП.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.
Дисертаційна робота виконана на кафедрі Програмних засобів Запорізького національного технічного університету (ЗНТУ) в рамках тем «Інтелектуальні методи діагностування систем керування віддаленими технічними об'єктами» (номер держ. реєстрації ДР № 0115U002242), «Дослідження особливостей розробки та використання дистанційно керованих систем» (номер держ. реєстрації ДР № 0115U004677), «Інформаційна система діагностування розподілених мінікомп'ютерних систем в багатокомпонентному зовнішньому середовищі» (номер держ. реєстрації ДР № 0117U000615.), «Дослідження особливостей інтерфейсів взаємодії для кіберфізичних систем » (номер держ. реєстрації ДР № 0118U100064), «Інтелектуальні методи діагностування систем

керування віддаленими технічними об'єктами», (номер держ. реєстрації ДР № № ДР0115U002242).

Також робота виконана в рамках договору про науково-технічне співробітництво № 417/156/1.4917 від 4.05.2017 між ЗНТУ та товариством з обмеженою відповідальністю «Інфоком ЛТД».

Практична цінність роботи. Розроблені методи та моделі оцінювання надійності СПНВП дозволяють:

1) використовувати розроблений метод верифікації СПНВП на основі нейронних мереж, для підвищення якості систем за рахунок підвищення точності;

2) застосовувати інтегрований метод визначення поточного положення з картографічним поданням приміщення в рамках системи навігації інтерактивного університету для підвищення точності роботи системи;

3) використовувати метод верифікації з використанням нейронних мереж за допомогою програмного пакету LabView для підвищення точності верифікації СПНВП;

4) використовувати метод голосової навігації для адаптації навігаційної системи до потреб людей з обмеженими можливостями;

5) інтегрувати в навігаційну систему Smart-Campus голосовий навігатор та метод визначення поточного положення.

Результати дисертаційної роботи підтвержені актами впровадження:

– на ТОВ «ИНФОКОМ ЛТД» для визначення поточного положення та покращення точності в системах геолокації.

– на ТОВ «ИНФОКОМ ЛТД» використання методу нейро-нечіткої верифікації систем позиціонування і навігації всередині приміщення дозволило проводити перевірку з низьким рівнем помилки

– в Запорізькому національному технічному університеті при розробці та впровадженні проекту SmartCampus.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є результатом самостійної роботи автора. Всі наукові результати, що винесено на захист, отримані здобувачем самостійно. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, особисто дисертанту належить: [14] – розроблення інтегрованого метода визначення поточного місцезнаходження; [15] – метод визначення заданого розташування з використанням голосових команд, [16, 19, 23, 24] – розроблення інформаційної технології оцінювання надійності СПНВП [17, 20] – метод визначення місцезнаходження для внутрішніх навігаційних систем; [18, 22] – розроблення нейро-нечіткої моделі; [21, 27] – розроблення методу голосової навігації [25] – розроблення моделі діагностики систем з обмеженими ресурсами; [26] – побудована за допомогою Labview установка для випробувань обладнання для захисту від падіння на базі мікропроцесора Arduino.

Апробація результатів дисертації. Основні результати доповідалися й обговорювалися на таких конференціях і семінарах: XII Міжнародна наукова конференція (ISDMCI'2016): Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (Залізний Порт, 2016); VIII Міжнародна науково-практична конференція: Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій (Запоріжжя, 2016); Міжнародний симпозіум з вбудованих систем та тенденцій навчання в галузі машинобудування (Нітра, Словаччина, 2016); Міжнародна науково-практична конференція «електротехнічні і комп'ютерні системи: теорія і практика» елтекс – 2017 (Одеса, 2017); The 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)(Romania, 2017); XIth International Conferences TCSET'2017 «Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science» (Lviv – Slavske 2018), Proceedings of the Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS), (Zaporizhzhia, 2019); The 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) (Metz, France, 2019).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 14 наукових працях, серед них: 5 у фахових виданнях, з яких 4 реферуються в міжнародних наукометричних базах, 5 у міжнародних наукових конференціях (4 з яких реферуються у Scopus, DBLP, Web of Science) та 4 у всеукраїнських конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури з 117 найменувань і додатків. Загальний обсяг становить 167 сторінки (з них 112 – основного тексту). У роботу входять також 54 рисунки і 8 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ ВСЕРЕДИНИ ПРИМІЩЕННЯ

Технології, які використовують для знаходження координат і орієнтування на місцевості, розвиваються дуже швидко. В наш час дуже багато пристроїв, які дозволяють орієнтуватися за сигналами GPS і глонасс, базових станцій мобільних операторів, вбудованими компасами і акселерометрами. Проте в приміщеннях та закритих спорудах супутниковий зв'язок досить слабкий або недоступний. Тому для подальшої роботи будемо розглядати СПНВП.

Система навігації – комплексна електронно-технічна система, яка складається із сукупності наземного і космічного устаткування, призначена для визначення місця розташування, а також параметрів руху для наземних, водних і повітряних об'єктів [28].

Під СПНВП будемо розуміти навігацію та виявлення об'єктів всередині приміщеннях за допомогою радіохвиль, магнітного поля, акустичних сигналів або інших технологій [29].

Оскільки, коректна робота систем СПНВП залежить від швидкості виконання і часу відгуку, то дані системи будемо вважати системами реального часу [29]. Застосунки реального часу – це ті застосунки, в яких час відповіді є критичним для роботи системи.

Одним із завдань, що необхідно вирішити – є забезпечення надійності СПНВП. Під надійністю навігаційних систем розуміють їх властивість безвідмовно виконувати задані функції при заданих умовах та в заданий проміжок часу [30]. Низький рівень надійності системи, зазвичай, приводить до високої вартості СПНВП, низької ефективності та відсутності інвестицій. Тому розроблення методів та програмного забезпечення діагностування вбудованих систем позиціонування та навігації є актуальним завданням.

При розробленні методів для оцінювання надійності СПНВП проведено аналіз апаратних, програмних засобів, параметрів надійності, існуючих програмних комплексів для виявлення існуючих недоліків.

1.1 Аналіз архітектури систем навігації всередині приміщення

Виділяють основні види навігації [31]:

– автомобільна навігація – технологія обчислення оптимального маршруту проїзду транспортного засобу по дорогах і подальшого ведення за маршрутом за допомогою візуальних і голосових підказок про маневри. Використовується GPS, інерціальна навігація, автомобільна навігаційна карта і оперативна інформація про затори;

– астрономічна навігація – метод визначення координат суден і літальних апаратів, заснований на використанні радіовипромінювання або світлового випромінювання небесних світил;

– біонавігація – здатність тварин вибирати напрямок руху при регулярних сезонних міграціях;

– повітряна навігація – прикладна наука про точне, безпечне переміщення в повітрі літальних апаратів;

– інерціальна навігація – метод визначення параметрів руху та координат об'єкта, що не потребує в зовнішніх орієнтирах або сигналах;

– інформаційна навігація – процес побудови маршруту користувача використовуючи логічно пов'язані дані;

– космічна навігація – управління рухом космічного літального апарата;

– морська навігація – основний розділ судноводіння;

– радіонавігація – теоретичні питання та практичні прийоми водіння суден і літальних апаратів за допомогою радіотехнічних засобів та пристроїв;

– супутникова навігація – практичне застосування засобів GPS та глонасс для визначення місцезнаходження та напрямку руху;

– підземна навігація – практичне застосування різних засобів вимірювань, для визначення місцезнаходження та напрямки руху підземних прохідницьких комплексів.

Системи GPS, глонасс та Maps не призначені для використання в приміщеннях. Це обумовлено тим, що для їх коректної роботи необхідна пряма видимість передавача і приймача сигналу. Тому в великих приміщеннях часто застосовують системи indoor-навігації або системи позиціонування і навігації всередині приміщення [19,32], що використовують засоби бездротового зв'язку з коротким діапазоном.

Таблиця 1.1

Порівняння технологій позиціонування і навігації

Характеристика	Bluetooth	Wi-Fi	Мобільні мережі	RFID	NFC
Тип мережі	WPAN	Ad-hoc, Hotspo	GSM	Point-to-Point	Point-to-Point
Безпека	Протокольний рівень	Протокольний рівень	Протокольний рівень	Апаратний та протокольний рівень	Апаратний та протокольний рівень
Взаємодія	Односпрямована	Односпрямована	Односпрямована	Односпрямована	Односпрямована
Радіус дії	10-100 м	от 5 м	2-120 км	до 300м	<0,2m
Час ініціалізації	<6s			<0.1s	<0.1s

Продовження таблиці 1.1

Порівняння технологій позиціонування і навігації

	Bluetooth	Wi-Fi	Мобільні мережі	RFID	NFC
Робочі частоти	2,402ГГц -2,48 ГГц	2,4ГГц - 2,4832 ГГц	850МГц, 900 МГц, 1800МГц, , 1900МГц	LF/HF/Microwa ve	13,56МН z
Енергоспоживання	0,01мА- 20мА	до 330м А	до 300мА	до 20мА	

Розглядаючи різні технології, можна зробити висновок, що недоліки використання мобільних мереж полягають в дороговизні базових станцій, недостатній точності і використанні двовимірного позиціонування. Недоліки Wi-Fi: низька точність і відсутність адаптивності до зміни координат. RFID технології не часто використовуються в наш час, так як вони застосовуються в спеціалізованих пристроях, так званих мобільних зчитувачах. Важливими особливостями технологій реалізованих за допомогою Bluetooth є висока точність і низьке енергоспоживання. Більш детально технології для передачі даних розглянуті в додатку Б.

СПНВП отримали своє поширення при [33]:

- навігації в торгових центрах, аеропортах, бізнес-центрах, музеях, навчальних закладах, заводах, конференц-центрах і т. д.;
- обміні місцями розташування в соціальних програмах;
- маршрутизації за списком покупок;
- отриманні знижок і купонів;
- рекламі за місцезнаходженням;

- відстеженні активів;
- визначенні місцезнаходження персоналу;
- розвідці.

Для подальшої роботи ми візьмемо за основу архітектуру СПНВП, яка показана на рис. 1.1, що складається з трьох рівнів: логічний, проміжний і реактивний. Основні елементи архітектури: планувальник місій, картографічне представлення та блок голосової навігації.

Незалежно від сфери застосування всі навігаційні системи мають відповідати основним вимогам:

- цілісність;
- безперервність роботи;
- точність визначення швидкості пересування об'єкта, часу і координат місцезнаходження;
- організаційна, просторова й тимчасова доступність.

Але існуючі системи не містять властивості, характерні для СПНВП. Такі, як використання власних карт, можливість роботи на кількох операційних системах, низький рівень шуму, перехід на автономний режим навігації.

Планувальник місій необхідний для запуску і виконання основних завдань навігаційних систем. Завдання представлені на рис. 1.1.

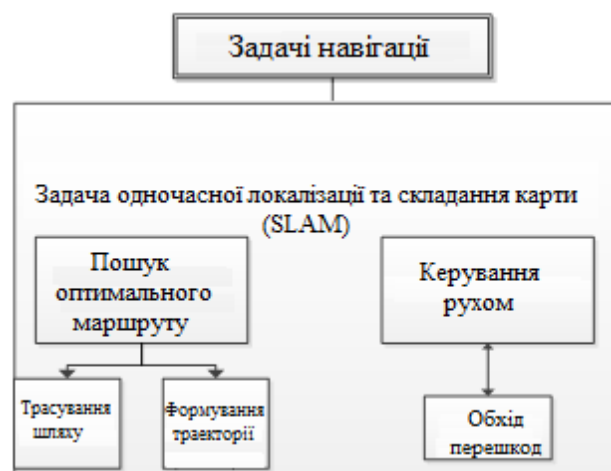


Рис. 1.1. Завдання навігації

Нехай модель проміжного рівня СПНВП має наступний вигляд:

$$S_{sys} = \langle X, B, R, Z, K \rangle, \quad (1.1)$$

де X – вхідні дані (x_d – дані з датчиків x_a – показання акселерометра, $x_{гол}$ – голосове повідомлення, x_m дані з маячків), B – картографічне представлення (карта представлена в вигляді матриці $[M,N]$), R – інформація про прийняті рішення (r_1, r_2, \dots, r_n – вліво, вправо, зупинитись), Z – пристрої виведення (z_k – камера, $z_{гол}$ – голосове повідомлення, z_t – телефон), K – режим роботи (k_a – автономний, k_k керований).

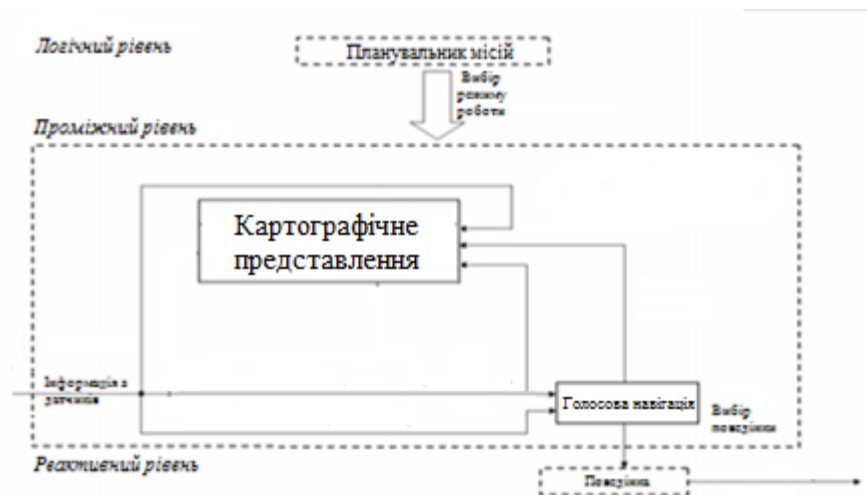


Рис. 1.2. Архітектура системи навігаційного управління

Як видно з рис. 1.2 основними завданнями блоку картографічного представлення [34] є:

- надання актуальних статичних і динамічних картографічних даних;
- локалізація положення користувача;
- робота з маршрутами (автоматичний розрахунок оптимального маршруту, побудова та опис маршруту, розпізнавання опису маршруту, відстеження переміщення по заданому маршруту).

Їх використання може підвищити надійність функціонування СПНВП. Але оскільки СПНВП – це системи з обмеженими ресурсами, необхідно мати методи,

що використовують найменший ресурс. Для запису інформації в СПНВП використовують блок голосової навігації, який містить секвенсори. Секвенсор – апаратний або програмний пристрій для запису і відтворення MIDI-повідомлень. Принцип роботи секвенсора полягає в тому, що MIDI-пристрій передає потік MIDI-повідомлень, що містять повну інформацію про темп відтворення, обрані тембри, налаштування ефектів і т. д. Секвенсор записує ці повідомлення у внутрішню пам'ять для подальшого відтворення.

Найчастіше, крім різноманітних засобів запису і редагування MIDI-даних, вони містять додаткові можливості, наприклад, автоматичний вивід на друк створеного повідомлення, багатоканальний аудіозапис, підтримку віртуальних синтезаторів, процесорів обробки [35]. Але виникає завдання розпізнавання голосових команд для керування СПНВП.

Після проведення аналізу навігаційних систем та побудови моделі СПНВП виникає необхідність оцінювання надійності даних систем. Для визначення найоптимальнішого методу необхідно провести аналіз методів оцінювання надійності і моделей верифікації систем реального часу.

1.2. Аналіз методів оцінювання надійності систем навігації і моделей верифікації систем реального часу

Оцінювання надійності та безпеки систем передбачена вимогами державних і міжнародних стандартів: ДСТУ 27.001-2009 [36], MIL-HDBK-217 [37], Telcordia SR-332 [38], IEC-61709/SN 29500 [39], IEC-TR-62380 [40], 217plus – (2015) [41], China 299B GJB/z 299C [42], ISO 9002008 [43]. Аналіз рівня надійності необхідний практично на всіх етапах життєвого циклу систем і, перш за все, на стадії проектування. Його головною метою є отримання достовірної інформації, необхідної для вироблення і обґрунтування управлінських рішень із:

- забезпечення надійності і безпеки;
- забезпечення високої якості продукції, що випускається;

– оптимізації витрат на забезпечення надійності та безпеки проєктованих або експлуатованих систем.

Для забезпечення безпеки в паралельних системах, об'єкти повинні підтримувати цілісний стан, тобто вузлова рівновага може бути інваріантом ітеративного алгоритму аналізу. Питання безпеки складніші, коли множинні потоки управління працюють з одними даними. Якщо об'єкт зазнає зміни стану, тоді доступ до цього об'єкта повинен бути регульованим, або за допомогою явної синхронізації, або виконуватись структурно [44].

Одним з основних показників безпеки є надійність, тобто властивість системи зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах експлуатації. Чим якісніше система, тим вона надійніше, і навпаки. У зв'язку з цим постає завдання розрахунку, прогнозування та підвищення надійності системи, для цього необхідно провести аналіз методів оцінювання надійності систем навігації.

1.2 1 Класифікація параметрів надійності систем навігації всередині приміщення

Низький рівень надійності системи може привести до значних витрат на ремонт, простій, аварії. Поліпшити надійність можливо за рахунок додаткового і більш вартісного обладнання. Але в сучасних економічних умовах важливим завданням є зменшення собівартості і розмірів сучасного обладнання.

До основних проблем надійності СПНВП [45] відносять:

- необхідність відгуку на непередбачувані дії протягом заданого інтервалу часу;
- забезпечення сталого функціонування при відмові одного або декількох елементів;
- виникнення помилок через певний термін експлуатації, відсутніх на етапі тестування прототипів;

– необхідність в оперативній обробці даних.

В якості основних параметрів надійності СПНВП виділяють [46]:

– параметри безвідмовності (імовірність безвідмовної роботи, середнє напрацювання до відмови, середнє напрацювання на відмову, гамма-відсоткове напрацювання до відмови, інтенсивність відмов, параметр потоку відмов, середня частка безвідмовного напрацювання, щільність розподілу часу безвідмовної роботи);

– параметри довговічності (середній ресурс, гамма-відсотковий ресурс, призначений ресурс, середній термін служби, гамма-відсотковий термін служби, призначений термін служби);

– параметри ремонтпридатності (імовірність відновлення працездатного стану, середній час відновлення працездатного стану, інтенсивність відновлення);

– параметри зберігання (середній термін зберігання, гамма-відсотковий термін зберігання).

Показники надійності можуть бути апаратними та апаратно-програмними. До апаратних відносяться: середнє напрацювання на відмову і термін служби до капітального ремонту. До апаратно-програмних відноситься середній час відновлення працездатності системи.

Для СПНВП можна розрахувати наступні показники надійності: середнє напрацювання на відмову, коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного використання, коефіцієнт планового використання системи, імовірність безвідмовної роботи, середній час відновлення, коефіцієнт технічного використання, коефіцієнт планового використання системи, коефіцієнт збереження ефективності системи.

Середнє напрацювання на відмову характеризує надійність відновлюваного приладу, пристрою або технічної системи. Цей параметр характеризується середньою тривалістю роботи пристрою між відмовами, тобто

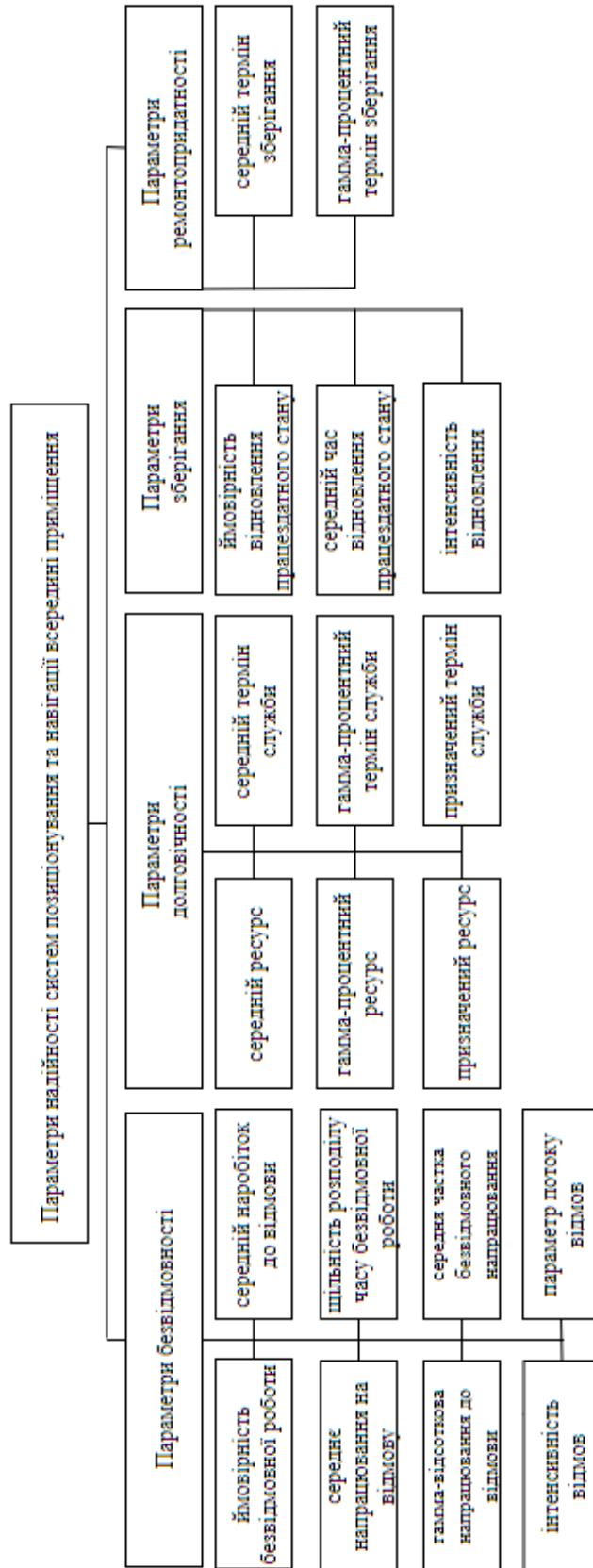


Рис.1.3 Параметри надійності

показує, яке напрацювання в середньому припадає на одну відмову. Виражається в годинах [47].

$$T_{\text{НВ}} = \frac{\sum_1^{m_{\text{отк}}} t_{\text{рен}}}{m_{\text{отк}}}, \quad (1.2)$$

де $t_{\text{рен}}$ – напрацювання до настання відмови рен , отк – кількість відмов.

Середнє напрацювання на відмову характеризує собою надійність ремонтovanого технічного пристрою і не враховує час необхідний для його відновлення після відмови. Тобто не визначає готовність пристрою до виконання своїх функцій в потрібний час. Для цієї мети, в якості критерію, вводиться коефіцієнт готовності.

Коефіцієнтом готовності називають відношення часу справної роботи до суми часу справної роботи і вимушених простоїв пристрою взятих за один і той же календарний термін [48, 49]. Розраховується за формулою:

$$K_{\Gamma} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{пр}}}, \quad (1.3)$$

де $t_{\text{сум}}$ – сума справної роботи, $t_{\text{пр}}$ – час вимушених простоїв.

Коефіцієнт технічного використання – характеризує ті ж властивості, що і коефіцієнт готовності, але враховує додатково попереджувальні ремонти [48, 49]:

$$K_{\text{ТВ}} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{т.о}} + t_{\text{рем}}}, \quad (1.4)$$

де $t_{\text{т.о}}$ – час затрачений на технічний огляд, $t_{\text{рем}}$ – час затрачений на ремонт.

Коефіцієнт планованого застосування, під яким розуміється частка періоду експлуатації, протягом якої система не повинна перебувати на плановому технічному обслуговуванні та ремонті, може бути знайдений як [48, 49]:

$$K_{\text{ПВ}} = \frac{t_{\text{сум}} - t_{\text{т.о}} - t_{\text{рем}}}{t_{\text{сум}}}. \quad (1.5)$$

Імовірність безвідмовної роботи, під якою розуміється імовірність того, що в межах заданого напрацювання відмова об'єкта не виникне, визначається [50]:

$$Rel(t) = \int_t^{\infty} f(x)dx , \quad (1.6)$$

де $f(x)$ – функція щільності часу напрацювання до відмови, t – тривалість періоду часу функціонування виробу, в припущенні, що виріб починає працювати в момент часу $t = 0$.

Середній час відновлення – це математичне очікування часу відновлення працездатного стану об'єкта після відмови. Визначається за формулою [51]:

$$t_{\text{від}} = \frac{1}{T_B} \sum_{i=1}^{T_B} \tau_i, \quad (1.7)$$

де T_B – кількість відновлень, рівна кількості відмов, τ_i – час витрачений на відновлення.

Для визначання показника надійності систем реального часу рекомендується використовувати коефіцієнт збереження ефективності $K_{зб}$, який відображає якість виконання системою своїх функцій [52]:

$$K_{зб} = \frac{E}{E_0}, \quad (1.8)$$

де E – фактичне значення ефективності з урахуванням відмов, E_0 – номінальне значення ефективності.

Основою досягнення високого рівня надійності вважається якісне проектування і досить повне тестування програмного забезпечення (ПЗ).

Згідно з міжнародним стандартом ISO / IEC 25010:2011 надійність програмних засобів рекомендується характеризувати [43]:

- рівнем завершеності (відсутністю помилок);
- стійкістю до дефектів;
- поновлюванні;
- доступністю – готовністю.

До основних параметрів картографічного представлення відносяться [53]:

- геометрична (метрична) інформація;
- атрибути–ознаки, пов'язані з об'єктом, що його характеризують;
- неметричні (топологічні), які пояснюють зв'язок між об'єктами.

На вхід навігаційних алгоритмів подається наступна інформація [54,55]:

- доступні сигнали радіополя (Bluetooth LE, Wi-Fi);
- дані внутрішніх датчиків смартфона (MEMS акселерометрів, гіроскопи, магнітометр);
- інформація про карту приміщення.

Також при використанні СПНВП виникають проблеми точності визначення координат, швидкості обробки даних і визначення коректного маршруту. Точність визначення поточного місцезнаходження сильно впливає на параметри безвідмовності системи.

Таким чином, провівши аналіз і класифікацію параметрів надійності СПНВП можна зробити висновок, що для коректної роботи СПНВП необхідно підібрати метод, для оцінювання якості СПНВП шляхом підвищення достовірності визначення поточного положення.

1.2.2 Аналіз методів оцінювання надійності систем навігації

Вихідну інформацію для оцінювання показників надійності на основі ДСТУ 3004-95 можна класифікувати [36]:

- розрахунково-експериментальні методи;
- розрахунково-аналітичні методи;
- комбіновані методи.

Для оцінювання надійності систем геолокації використовують методи [56] (Додаток В):

1. Структурно-аналітичний метод. Для складних систем з великим числом елементів, які пов'язані між собою за допомогою інформаційних шин і шин живлення, складання структурної схеми є досить складним завданням. При

цьому неминучі методичні помилки, обумовлені тим, що практично неможливо в умовах обмежених ресурсів часу перебрати всі можливі комбінації відмови елементів, що призводять до відмови системи.

2. Логіко-графічний метод. Недоліком опису системи графом станів є складність введення даних і методів визначення характеристик надійності для систем з великою кількістю станів [57].

3. Логіко-імовірнісний метод. Обчислення за допомогою логіко-імовірнісних методів значень показників надійності і безпеки складних систем, що містять мікропроцесорні елементи, зазвичай, являє собою досить громіздку задачу. Тому для оцінювання цих показників застосовуються наближені методи, які засновані на пошуку верхньої і нижньої меж відповідних імовірностей [58].

Недоліки:

– зв'язності представляють тільки дві логічні операції "І" та "АБО", що не відповідає всім 5 можливостям основного аналітичного апарату моделювання - алгебри логіки [58, 59]. За допомогою графів зв'язності вдається строго формалізувати умови роботи тільки вузького підкласу;

– основним засобом аналітичного вираження умов функціонування систем є монотонна логічна функція, яка надається або за допомогою найкоротших шляхів успішного функціонування, або за допомогою мінімальних перетинів відмов [59, 60]. Це не дозволяє будувати немонотонні моделі надійності систем, що враховують, наприклад, вплив окремих елементів на надійність багатофункціональних систем в цілому і якісну складність, тобто здатність функціонувати в різних станах з різною ефективністю [59];

– існуючі методи переходу від логічних до імовірнісних моделей надійності систем дуже громіздкі і трудомісткі навіть при їх машинній реалізації;

– наявні методологічні засоби не в повній мірі алгоритмізовані. Це обмежує практичне застосування логіко-імовірнісного методу для оперативного аналізу надійності, навіть монотонних, якісно простих систем.

4. Аналітично-статистичний метод має наступні недоліки:

- метод дозволяє аналізувати системи тільки простої структури;
- неможливо досліджувати залежні процеси;
- неможливо аналізувати системи зі змінною структурою.

Для підвищення якості СПНВП ефективним методом є верифікація систем [60]. Верифікація системи може бути виконана шляхом включення системи перевірки під час роботи і використання для тестування. Найбільш поширені методи верифікації на основі апарату нейронних мереж або часових автоматів (додаток Г та Д). Тому проведемо аналіз підходів до верифікації на основі нейронних мереж.

1.3. Аналіз методів визначення та верифікації поточного положення систем позиціонування та навігації всередині приміщення.

1.3.1. Аналіз нейронних мереж для завдань верифікації систем позиціонування та навігації всередині приміщення

Останнім часом у системах навігації застосовуються такі моделі нейронних мереж (НМ) [61]:

- для задач навігації (обхід перешкод) – MLP (Multilayer Perceptron) [62], RBF–мережі (Radial Basis Function network), мережа Хопфілда [61], гібридні НМ, НМ що ростуть, ART–мережі (Adaptive Resonance Theory);
- для задач картування і навігації в незнайомому середовищі – Fuzzy ARTMAP (fuzzy logic and adaptive resonance theory) [63];
- для картування – SOM (SOFM – Self–Organizing Feature Map) [62];
- для управління маніпуляторами (рішення оберненої задачі кінематики, моделювання динаміки) – MLP;
- в системах автоматичного регулювання приводів – MLP, RBF–мережі [63].

Гібридні структури, які об'єднують в собі нейронні мережі і нечітку логіку, збирають найкращі властивості обох методів. З одного боку такі структури

включають обчислювальну потужність і здатність до навчання нейронних мереж, а з іншого боку інтелектуальні можливості нейронних мереж посилюються властивими "людському" способу мислення нечіткими правилами прийняття рішень.

В нечітких нейронних мережах вивід здійснюється на основі апарату нечіткої логіки, а параметри функцій належності налаштовуються за допомогою алгоритмів навчання нейронної мережі [64].

Модуль нечіткого управління представляється в формі багатошарової мережі, в якій шари виконують функції елементів системи нечіткого виведення. Нечітка нейронна мережа, як правило, складається з чотирьох шарів:

- шару фазифікації вхідних змінних (введення нечіткості);
- другий і третій шари відображають нечітку базу знань і реалізують алгоритм нечіткого виводу. При стандартній схемі нечіткого виведення виконується агрегування передумов правила і активізація висновків правил з однаковими виходами;
- шару дефазифікації (приведення до чіткості).

Ключові завдання при розробленні алгоритму пошуку шляху:

1. Вибір структури нейро-нечіткої моделі управління і алгоритму навчання.
2. Складання навчальної вибірки, навчання і тестування.
3. Аналіз і порівняння результатів.

Нейро-нечітка система представлена у вигляді багатошарової нейронної мережі, кожен шар якої відповідає за певний крок алгоритму непарного логічного висновку. Використання даної моделі дозволяє здійснити можливість витягу бази даних знань в цілому, що робить реалізацію більш гнучкою.

Проведено аналіз різних видів нейронних мереж, для вилучення з навчальної вибірки були обрані самоорганізовані карти Кохонена, які проходять навчання без учителя. Карти Кохонена являють собою набір вхідних елементів,

кількість яких збігається з розмірністю векторів, що застосовуються до входу, і набір вихідних елементів, кожен з яких відповідає одному кластеру (групі) [65].

При застосуванні будь-якого мережевого вхідного вектора необхідно визначити, який з кластерів найближчий до вектора. В якості критерію близькості можна вибрати критерій мінімальної квадратної евклидової відстані. Формула для обчислення квадратного евклидової відстані наступна:

$$d_{pk} = \sum_{i=0}^n (x_{pi} - x_{ki})^2, \quad (1.9)$$

де d_{pk} – квадрат відстані між точками P і K, $x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pn}$ кластерні координати точки P, $x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn}$ координати центру кластера K.

Побудова моделі нечіткої нейронної мережі, яка застосовується в задачах класифікації, здійснюється шляхом з'єднання системи нечіткого виведення і нейронної мережі. Для побудови власної моделі верифікації необхідно обрати алгоритм для побудови оптимального маршруту.

1.3.2 Дослідження ефективності пошукових алгоритмів для систем позиціонування та навігації всередині приміщення

На даному етапі СПНВП важливою проблемою є коректне відображення розміщення всередині приміщення і відповідно визначення поточних координат, так як робота з картами досить трудоміским процесом, а СПНВП є системою з обмеженими ресурсами, тому виникає необхідність зменшення використовуваного ресурсу, це можливо зробити за рахунок вибору алгоритму для побудови оптимального маршруту. Існує велика кількість алгоритмів [66]:

- алгоритм Дейкстри;
- пошук в ширину (BFS, Breadth-First Search);
- алгоритм пошуку A *;
- алгоритм пошуку з ітеративним поглибленням IDA * (Iterative-Deepening A *);

– пошук точки стрибка (Jump Point Search);

Для проведення аналізу розглядався граф $G(V, E)$, де V – кількість вершин, E – кількість ребер.

Вибір алгоритму для реалізації можна здійснити, проаналізувавши таблицю, в якій розглядаються ключові фактори.

Вартість проходу по коміркам визначає чи підходить даний алгоритм для задачі пошуку оптимального маршруту по карті, чи ні [66]. Деякі алгоритми призначені для пошуку шляху в лабіринті і вартість проходів може бути 1 або ∞ , наприклад, в Breadth-First Search.

Також розглядається поняття складності алгоритму – це спосіб виміряти, наскільки швидко програма або алгоритм працюють. Аналіз складності дозволяє пояснити, як буде вести себе алгоритм при зростанні вхідного потоку даних.

Існує кілька методів аналізу складності алгоритмів за часом, найпоширенішими з них є:

- амортизаційний аналіз;
- аналіз паралельних алгоритмів;
- асимптотичний аналіз складності алгоритмів.

Амортизаційний аналіз – метод аналізу алгоритмів, що дозволяє здійснювати оцінювання часу виконання послідовності з n операцій над деякою структурою даних. Час виконання вираховується за всіма n операціями і оцінюється середній час виконання однієї операції в гіршому випадку. [67]

Аналіз паралельних алгоритмів – при паралельному виконанні алгоритму різні частини програми виконуються на різних обчислювальних пристроях, і часто виходить, що результат обчислення в одному пристрої є входом для іншого пристрою. Час, необхідний для обміну даними між обчислювальними пристроями, залежить від топології комунікаційної підсистеми і може виявитися порівнянними (або навіть перевищувати) з часом, необхідним для виконання операцій алгоритму. Тому для паралельних алгоритмів точний аналіз складності

вимагає врахування як кількості кроків алгоритму (з урахуванням можливості паралельного виконання), так і кількість необхідних пересилань [67].

Асимптотичний аналіз складності алгоритмів – метод аналізу алгоритмів, в якому розглядається поведінка алгоритму при $n \rightarrow \infty$. При асимптотичному аналізі обчислювальної складності алгоритму оцінюють кількість операцій для таких випадків:

- найгірший випадок (worst case) – максимальна кількість операцій, необхідних для оброблення набору вхідних даних;
- середній випадок (average case) – середня кількість операцій, необхідних для оброблення набору вхідних даних;
- найкраща нагода (best case) – мінімальна кількість операцій, необхідних для оброблення набору вхідних даних.

Кращий випадок (best case) – це екземпляр завдання (набір вхідних даних), на якому алгоритм виконує найменше число операцій.

$$T_{best}(n) = 1, \quad (1.10)$$

Найгірший випадок (worst case) – це екземпляр завдання, на якому алгоритм виконує найбільшу кількість операцій.

$$T_{worst}(n) = 1, \quad (1.11)$$

Середній випадок (average case) – це "середній" екземпляр завдання, набір "усереднених" вхідних даних. В середньому випадку оцінюється математичне очікування кількості операцій, що виконуються алгоритмом. Не завжди очевидно, які вхідні дані вважати «усередненими» для завдання.

Для запису асимптотичної складності алгоритмів використовуються різні асимптотичні позначення, наприклад, O (Big O).

Існує поняття тимчасової складності і воно особливо важливо для задач, які передбачають інтерактивний режим роботи програми, або для завдань

управління в режимі реального часу. Як правило, підвищення точності обчислень веде до збільшення часу [66].

Об'ємна складність програми стає критичною, коли обсяг оброблюваних даних виявляється на межі обсягу оперативної пам'яті [17].

У таблиці 1.2. розглядалися наступні позначення:

$O(n)$ – кількість операцій для пошуку вершини;

m – релаксація;

d – глибина пошуку;

b – коефіцієнт розгалуження;

$|v|$ – вершини;

$|e|$ – ребра.

h^* – оптимальна евристика,

Таблица 1.2

Таблица порівняння алгоритмів

Алгоритм	Вартість переходу по коміркам	Worst time Найгірший час	Worst space (найбільший об'єм пам'яті)	Складність алгоритму
Дейкстри	Будь-яка	$O(n^2)$	$O(v)$	$O(n^2+m)$
BFS,)	1 або ∞	$O(bd+1)$	$O(bd)$	$O(v + e)$
A*	Будь-яка	$O(bd+1)$	$O(bd)$	$O(\log h^*(x))$
IDA*	1 або ∞	$O(bd)$	$O(bd)$	$O(bd)$
JPS	1 або ∞	$O(n^2)$	$O(n)$	$O(n^2)$

Аналіз показав, що тільки три алгоритми з розглянутих можна використовувати: алгоритм Дейкстри, A*, стрибкові точки. З цих алгоритмів найоптимальнішим за часом є стрибкові точки, тому що алгоритм не вимагає

додаткових витрат пам'яті. Розрахунок у додатку Е. Для корегування маршруту слід обрати фільтр, який дозволить прибрати зайві шуми.

1.3.3 Методи оцінювання координат в реальному часі

Для визначення координат в реальному часі можна використовувати акселерометр, але недолік акселерометра у тому що при отриманні даних можливе виникнення великої кількості випадкових сплесків даних. Для зниження шумів при обробці сигналів можна використовувати фільтр Калмана, Калмана - Бьюси, гібридний фільтр Калмана. Розглянемо переваги використання фільтра Калмана [68, 69]. Фільтр прибирає шуми вимірювання (випадкові сплески) і видає результат як з урахуванням результатів поточних вимірювань, так і з урахуванням передбачених результатів на основі минулих вимірів. У фільтрі Калмана є можливість задати апіорну інформацію про характер системи, зв'язку змінних і на підставі цього будувати більш точну оцінку. Фільтр використовує динамічну модель системи (закон руху) і дві повторювані циклічно стадії: передбачення і корегування. На першому етапі - передбачення – розрахування стану системи в наступний момент часу, а на другому – корегування – корегується прогноз, використовуючи результат чергового вимірювання.



Рис. 1. 4. Процес фільтрації системи [68]

При початкових значеннях $x_{\Phi-1}$ $P_{\Phi-}$, спочатку розраховується прогноз стану системи:

$$c_{\phi} = F_{\phi}c_{\phi-1} + B_{\phi}u_{\phi-1} \quad (1.12)$$

де c_{ϕ} – це передбачення стану системи, в поточний момент часу, F_{ϕ} – матриця переходу між станами (динамічна модель системи), $c_{\phi-1}$ – стан системи в минулий момент часу, B_{ϕ} – матриця застосування керуючого впливу, $u_{\phi-1}$ – керуючий вплив в минулий момент часу [13].

Розрахунок передбачення помилки обчислюється:

$$P_{\phi} = F_{\phi}P_{\phi-1}F_{\phi}^T + Q_{\phi} \quad (1.13)$$

де P_{ϕ} – прогнозування помилки, $P_{\phi-1}$ – помилка в минулий момент часу, Q_{ϕ} – коваріація шуму процесу.

На етапі корегування обчислюють спочатку коефіцієнт впливу априорної інформації стану та конкретних значень на кінцевий результат або посилення Калмана :

$$K_{\phi} = P_{\phi}H_{\phi}^T (H_{\phi}P_{\phi}H_{\phi}^T + R_{\phi})^{-1}, \quad (1.14)$$

де K_{ϕ} – посилення Калмана, H_{ϕ} – матриця вимірювань відображає ставлення вимірювань і станів, R_{ϕ} – коваріація шуму вимірювання.

Після чого проводиться оновлення оцінки з урахуванням виміру в поточний момент часу a_{ϕ} :

$$a_{\phi} = c_{\phi} + K_{\phi}(a_{\phi} - H_{\phi}c_{\phi}). \quad (1.15)$$

Після чого визначається оновлення помилки коваріації:

$$P_{\phi} = (L_{\phi} - K_{\phi}H_{\phi})P_{\phi}, \quad (1.16)$$

де L_{ϕ} – матриця ідентичності.

Фільтр Калмана використовують для завдань:

- стабілізації орієнтації об'єкта;
- побудови оцінки координати;

- підвищення точності визначення координат;
- ідентифікації динамічних систем;
- оцінювання керуючого сигналу.

Переваги фільтра Калмана:

- отримання рішення задачі фільтрації;
- визначення практичної реалізації результатів;
- показ зміни дискретного шуму в інтервалі між кожними вимірами;
- оцінювання поточної помилки.

Таким чином, фільтр Калмана забезпечує рекурсивне рішення для лінійної задачі оптимального оцінювання в стаціонарних, а також нестаціонарних умовах. На практиці інформація щодо статистичних характеристик вхідного та вимірного шуму достовірно невідомо, що може приводити до обчислюваного процесу оцінювання. Для корекції було використовувати фільтр Калмана.

Фільтр Калмана має свої недоліки: накопичення помилок і поява погано обумовлених коваріаційних матриць.

Для підвищення ефективності роботи функціонуючих систем і побудови якісних нових, необхідно провести аналіз існуючих систем навігації та програмних комплексів для оцінки їх надійності .

1.4. Аналіз існуючих програмних комплексів

1.4.1 Аналіз існуючих програмних комплексів оцінювання надійності систем навігації

Розглянемо і проаналізуємо існуючі програмні комплекси (ПК), що реалізують оцінювання надійності.

Потреба в розробленні ПК для автоматизованого моделювання та розрахунку статистичних і динамічних показників надійності і безпеки складних технічних систем обумовлено потребами розвитку промисловості. У роботі були

розглянуті існуючі програмні комплекси: Relex, Risk Spectrum, АРБИТР, А.L.D. Group, АСОНІКА-К [70-73].

Таблиця 1.3

Порівняння програмних комплексів

	Relex и Risk Spectrum	АРБИТР	A.L.D. Group	АСОНІКА-К
МОЖЛИВОСТІ	логіко-імовірнісний аналіз, оптимізацію техногенного ризику і визначення оптимальних параметрів системи технічного обслуговування потенційно небезпечних об'єктів	логіко-імовірнісний метод системного аналізу, який реалізує всі можливості основного апарату моделювання алгебри логіки в базі операцій «I	Реалізація повного замкнутого циклу методології FRACAS, який можна застосувати до будь-якого продукту, послуги, процесу.	аналіз та забезпечення надійності в рамках автоматизованого проектування
НЕДОЛІКИ	обмеженість логічної бази і графічних аналітичних засобів,	не використовується для оцінювання надійності СПНВП	орієнтований на специфічну техніку	відсутність інтеграції з іншими системами;

Після розгляду та аналізу існуючих програмних комплексів, враховуючи їх недоліки, було прийнято рішення про побудову власної моделі верифікації та розробці методів оцінки надійності систем позиціонування і навігації всередині приміщення, визначення поточного положення. Це обумовлено тим, що для дослідження надійності вбудованих систем необхідно використовувати програмно-апаратні засоби, які всебічно оцінюють надійність СПНВП, та є вбудованими в архітектуру системи.

1.4.2 Аналіз галузей використання системи навігації всередині приміщення

Однією тенденцій розвитку сучасної освіти є постійне вдосконалення освітнього середовища. Вирішити це завдання дозволяє концепція Smart навчання [74].

Зміст концепції Smart університетів в кожній країні трактується по різному, проте у всіх випадках зводиться до ряду нових ефектів, що задовольняють потреби зацікавлених сторін в умовах нового типу суспільства. Smart університет передбачає:

- гнучкість навчання в інтерактивному освітньому середовищі;
- персоналізацію та адаптацію навчання;
- вільний доступ до контенту по всьому світу.

Smart навчання реалізується з використанням технологічних інновацій та інтернету, який надає студентам можливість придбання професійних компетенцій на основі системного багатовимірного бачення і вивчення дисциплін з урахуванням їх багатоаспектності і безперервного оновлення змісту. Навчання в Smart університеті повинно бути максимально включеним в життя слухача, носити неформальний характер, а також ґрунтуватися на технологіях, які сьогодні звичні для всіх. Щоб встигати за змінами, що відбуваються і зростаючими запитами студентів, Smart університетам необхідно відповідати

наступним вимогам: гнучкість, пристосованість, якісні показники, інновації. Велике значення набувають Smart технології в освіті, з одного боку дозволяють оптимізувати витрати університету на матеріально-технічне забезпечення, з іншого боку вивести на новий рівень якість освітніх послуг і продуктів [75].

Однак, при використанні концепції Smart навчання виникають нові виклики пов'язані з адаптацією системи для людей з фізичними вадами. Завдяки швидкому прогресу в сучасних технологіях, що використовують апаратні і програмні засоби, все більшої популярності набуває забезпечення розумної допомоги для людей, найчастіше за рахунок використання голосу. Голосові команди для навігаційних систем дозволяють: зв'язувати між собою багато об'єктів та подій; надавати доступ до інформації в системах навігації; підтримувати нові системи взаємодії з користувачами, датчиками, мобільними пристроями, пристроями і застосунками.

Розглянемо існуючі роботи, присвячені розробленню та дослідженню голосових помічників всередині приміщення.

В роботі [76] запропоновано систему, яка дає поради щодо напрямку, який залежить від топологічної карти у вигляді графа. Навігація за цим графом містить значення відстані від одного вузла до іншого, поки не буде досягнуто кінцевого вузла.

В розглянутій роботі не реалізовано навігації за рахунок використання BLE4.0. та голосового помічника.

В роботі [77] розроблена допоміжна система для людей з вадами зору з голосовим зворотним зв'язком. Запропонована система на стороні користувача містить в собі модуль зчитувача RFID з вбудованим мікроконтролером, приймач zigbee для передавання інформації, яка закріплена за міткою, також приймач використовується для відтворення інформації для сліпої людини.

В роботі [78] запропоновано систему навігації, основу на технології RFID. Відповідні мітки розташовані на однаковій відстані одна від одної. Користувач має пристрій з встановленим у ньому застосунком. Зчитувач посилає

інформацію мітки за допомогою технології Bluetooth. Пристрій користувача надає вказівки навігації користувача в звуковій формі.

В розглянутих роботах не реалізовано навігації за рахунок використання BLE4.0.

Реалізація систем голосової навігації і розпізнавання мови процес дуже складний, трудомісткий і ресурсозатратний. Часто вже розроблені системи розпізнавання мови з закритим вихідним кодом не мають належної документації, опису або прикладів для можливості інтеграції, обмежені кількістю запитів або ж є платними. При використанні голосової навігації виникає проблема неточності формування запитів, наприклад, команда виходу з приміщення може мати різні варіанти: знайти вихід, як мені покинути приміщення? я хочу вийти геть. Для вирішення даної проблеми було прийнято рішення використовувати нечіткий вивід.

1.5 Висновки до розділу 1 і постановка задачі дослідження

Проведено аналіз технологій, що використовуються СПНВП на основі: Wi-Fi, Bluetooth, RFID, мобільних мереж, який дозволив визначити такі недоліки як: дороговизна базових станцій, недостатня точність за рахунок використання двовимірного позиціонування, відсутність адаптивності до зміни координат. Тому на основі проведеного аналізу в табл. 1.1, для подальшої роботи в якості архітектури було обрано технологію з використанням BLE4.0.

Для підвищення ефективності роботи існуючих систем і побудови якісних нових були визначені параметри надійності СПНВП: параметри безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, зберігання.

Був проведений аналіз існуючих програмних комплексів для оцінювання надійності та виділені їх недоліки: обмеженість логічної бази графічних і аналітичних засобів, відсутність адаптації для оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення, орієнтованість на специфічне апаратне забезпечення, відсутність інтеграції з іншими системами.

Після аналізу методів оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення було визначено класи задач, які необхідно вирішити для підвищення точності та надійності. Основними задачами є забезпечення точності визначення координат, швидкості оброблення даних і коректність побудови маршруту. Для забезпечення параметрів надійності таких як параметри безвідмовності та зберігання будемо використовувати верифікацію систем.

Для реалізації верифікації СПНВП було розглянуто підходи на основі нейронної мережі та на основі часових автоматів. Дослідження дозволило зупинити вибір на використанні нечіткої нейронної мережі, яка здійснюється шляхом з'єднання системи нечіткого виведення і нейронної мережі.

Однак, важливою проблемою СПНВП є коректне відображення розміщення всередині приміщення і відповідно визначення поточних координат, так як робота з картами є досить трудоміским процесом, а СПНВП є системою з обмеженими ресурсами, тому виникає необхідність зменшення використовуваного ресурсу, це можливо зробити за рахунок вибору алгоритму для побудови оптимального маршруту. Тому було розглянуто алгоритми для побудови оптимального маршруту: алгоритм Дейкстри, пошук в ширину, алгоритм пошуку A^* , алгоритм пошуку з ітеративним поглибленням IDA, пошук точки стрибка. Після аналізу алгоритмів був обраний найоптимальнішим за часом та витратою пам'яті – пошук точки стрибка (JPS).

Для оброблення даних та прибирання шуму і зайвої інформації було обрано фільтр Калмана.

Враховуючи вищеперераховане, було поставлено завдання розробити власний метод для оцінювання достовірності визначення поточного положення всередині приміщення.

Неодмінною умовою підвищення ефективності роботи системи є ефективна інформаційна технологія (Додаток Е), що володіє гнучкістю та мобільністю, тому було поставлено завдання розробити інформаційну

технологію оцінювання надійності СПНВП, що дозволяє отримувати дані з різних джерел.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ І МЕТОДУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ПОТОЧНОГО РОЗТАШУВАННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ТА НАВІГАЦІЇ ВСЕРЕДИНІ ПРИМІЩЕННЯ

В навігації існує поняття «поточна позиція». Під ним мається на увазі місцезнаходження конкретного об'єкта в реальному часі. Знати поточне положення об'єкта необхідно в кожен момент, без цього неможлива побудова подальшого маршруту, обчислення точного часу прибуття в точку призначення. А також без визначення поточного стану об'єкта неможливо забезпечити надійність пересування.

Одним з показників надійності для систем навігації є достовірність поточного місця положення. Для коректного відображення розташування всередині приміщення необхідно визначити поточні координати, зіставити положення з картографічним поданням, оновлювати розташування в реальному масштабі часу, перевірити відповідність поточного положення щодо планованого маршруту. Тому виникає необхідність розроблення методу визначення поточного місця розташування [14].

2.1 Розроблення інтегрованого методу визначення поточного місця розташування

2.1.1 Отримання вихідних параметрів для визначення поточного розташування всередині приміщення

Відповідно до проведеного аналізу в табл. 1.1. для подальшої роботи будемо використовувати маячки iBeacon, які реалізовані з використанням протоколу BLE 4.0. Дані маячки з заданою періодичністю посилають сукупність сигналів RSSI (Received Signal Strength Indication), які можна ідентифікувати.

Для розрахунків майбутнього середнього значення RSSI з кожним iBeacon. Для цього їх необхідно налаштувати на видачу інформації з максимальною частотою, потім з певною періодичністю накопичувати її в буфері [79], і на

основі накоплених даних визначити середнє значення. Формула визначення положення по RSSI:

$$P_{dist} = P_0 - 10u \lg\left(\frac{dist}{dist_0}\right) \quad (2.1)$$

де P_{dist} – RSSI, $dist$ – відстань від пристрою до передавача $dist_0$ – відстань від пристрою до точки, на якій виконувалось вимірювання потужності сигналу P_0 , P_0 – потужність сигналу пристрою, виміряна на одиничній відстані $dist_0$ від пристрою, u – коефіцієнт втрат потужності сигналу при розповсюдженні в середовищі, безрозмірна величина (для повітря $u = 2$)

Однак, на практиці параметр рівня сигналу приймача (RSSI) не стабілізується, що заважає коректному визначенню положення. Це обумовлено [80]:

- орієнтацією і характеристикою направленості вилучення або прийому антени маячка / користувальницького пристрою;
- присутністю великих екранованих об'єктів (людина таким теж є) у напрямку від маячка до пристрою;
- наявністю поблизу поверхонь з матеріалів, які добре відображають радіосигнал, а також великим скупченням маячків Beacon на одній території, за рахунок багатопроменевої інтерференції з основним променем.

При відомих параметрах RSSI більш ефективною є побудова проєкції на осі XY. Для цього необхідно вибрати три маячка з найкращим показником середнього значення RSSI і визначити координати користувача за допомогою трилатерації [81]. У трилатерації для обчислення місця розташування об'єктів використовується відоме місце розташування двох і більше опорних об'єктів і вимірювання відстаней між кожним з опорних об'єктів (Beacon маячків) і пристроєм, для якого визначається місце розташування. Для точного і однозначного визначення щодо місця розташування точки або об'єкта на

двовимірної площині тільки з використанням трилатерації потрібно, як правило, щонайменше, три опорні точки.

Розрахунки проводяться в двовимірному просторі, а відстань до маячків у – в тривимірному, відповідно, якщо різниця по осі Z між спостерігачем і маячками істотна, потрібно будувати проєкції на осі X, Y (рис.2. 1).

$$C_{кор} = \sqrt{A_{кор}^2 - B_{кор}^2} \quad (2.2)$$

де $A_{кор}$ – це отримана відстань через RSSI, $B_{кор}$ – висота розташування маячка від двовимірної площини, $C_{кор}$ – відстань до маячка в цій площині, яку і потрібно знайти.

Оскільки утворений трикутник – прямокутний, то по теоремі Піфагора можна знайти шукану відстань, і використовувати її в своїх розрахунках. Однак, такий розрахунок дає точність в 3 метри.

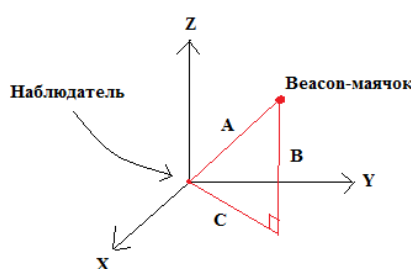


Рис. 2.1. Побудова проєкції на осі X,Y [81]

При використанні мобільних пристроїв можна зменшити похибку прогнозу – за допомогою застосування відразу двох систем – крім основного визначення положення за допомогою iBeacon маячків, використовувати для корекції цього положення інерційну навігаційну систему (ІНС), що складається з акселерометра, гіроскопа і компаса (магнітометра) [82]:

– акселерометр – показує проєкції діючих сил. Коли пристрій нерухомо або рухається без прискорення, акселерометр видає значення проєкцій прискорення вільного падіння (сили тяжіння) на його осі;

– гіроскоп – показує проєкції кутових швидкостей. Коли пристрій нерухомий, то отримуємо нулі. При зміні кута нахилу пристрою покаже швидкість обертання, розкладену на осі;

– магнітометр – показує напруженість магнітного поля, розкладання на осі.

За допомогою акселерометра можна розрахувати прискорення:

$$a = \frac{\vartheta - \vartheta_0}{t} \quad (2.3)$$

де ϑ – миттєва швидкість, ϑ_0 – початкова швидкість, t – час руху.

Після отримання вихідних параметрів необхідно розробити метод оцінювання поточного положення при переміщенні всередині приміщення.

2.1.2 Метод визначення маршруту при переміщенні всередині приміщення

Для відображення положення на карті необхідно мати картографічне представлення приміщення з зазначенням положення кожного iBeacon-маячка і мати можливість прокласти маршрут. Для цього скористаємося алгоритмом для пошуку найкоротшого шляху через дві точки. У даній роботі використовувався алгоритм пошуку найкоротшого шляху під назвою Jump Point Search (JPS) [14,17].

Нехай карта представлена у вигляді матриці $[M, N]$, де M – кількість точок по осі X , N – кількість точок по осі Y .

Алгоритм працює на неорієнтованому графі єдиної ваги. Кожне поле карти має ≤ 8 сусідів, які можуть бути прохідними чи ні. Кожен крок у напрямку (по вертикалі або по горизонталі) має вартість 1; крок по діагоналі має вартість $\sqrt{2}$. Рухи через перешкоди заборонені. Позначення відноситься до одного з восьми напрямків руху (вгору, вниз, вліво і т.д.) [75,76].

Запис $m_{j_p} = h_{j_p} + j d_{j_p}$ означає, що точка m_{j_p} може бути досягнута через j_{j_p} кроків з h_{j_p} в напрямку d_{j_p} . Коли d_{j_p} – рух по діагоналі, переміщення ділиться на

два переміщення по прямій $d_{j_{p1}}$ і $d_{j_{p2}}$. Шлях $r_{j_p} = (i_{j_{p0}}, i_{j_{p1}}, \dots, i_{j_{pn}})$ – впорядковане переміщення по точках без циклів з точки $i_{j_{p0}}$ до точки $i_{j_{pn}}$.

Позначення $r_{j_p} \setminus h_{j_p}$ означає, що точка h_{j_p} не зустрічається на шляху r_{j_p} .

Позначення $len_{j_p}(r_{j_p})$ означає довжину або вартість шляху r_{j_p} .

Позначення $dist_{j_p}(h_{j_p}, z_{j_p})$ означає довжину або вартість шляху між точками h_{j_p} і z_{j_p} .

JPS дозволяє прискорити алгоритм пошуку шляху, розглядаючи тільки «необхідні» точки. Такі точки можуть бути описані двома простими правилами вибору сусідів при рекурсивному пошуку: одне правило для прямолінійного руху та інше – для діагонального. В обох випадках необхідно довести, що виключаючи з набору найближчих сусідів навколо точки, знайдеться оптимальний шлях з предка поточної точки до кожного з сусідів, і цей шлях не буде містити в собі відвідану точку.

Точка y є точкою стрибка точки x_{j_p} , в напрямку d_{j_p} , якщо y мінімізує значення k_{j_p} так, що $m_{j_p} = h_{j_p} + j d_{j_p}$ і виконується одна з наступних умов:

- точка r_{j_p} – точка призначення;
- в точці r_{j_p} є хоча б один сусід, який є вимушеним за визначенням 1;
- d_{j_p} – рух по діагоналі і існує точка $z_{j_p} = r_{j_p} + j_{j_p} d_{j_p}$, яка лежить в $j_{j_p} d_{j_p}$

кроках в напрямку $d_{j_{pi}} \in \{d1_{j_p}, d2_{j_p}\}$, таких що z_{j_p} – точка стрибка з r_{j_p} за умови 1 або 2.

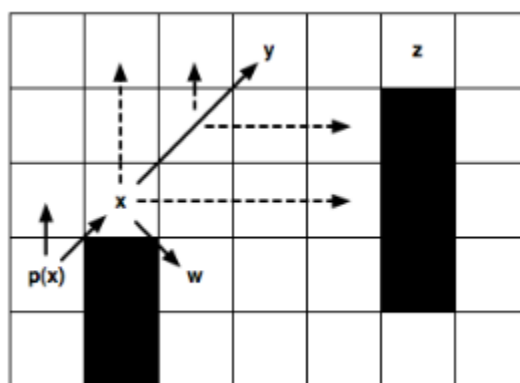


Рис. 2.2. Приклад точки стрибка

На рис. 2.2 зображено приклад точки стрибка, яка визначена умовою 3. Тут ми починаємо в точці x_{jp} і закінчуємо рух по діагоналі, поки не натрапимо на точку. З u_{jp} в точку r_{jp} можна потрапити за j_{jp} кроків по горизонталі.

Таким чином, z_{jp} є наступником точки для стрибка h_{jp} (за умовою 2), а це в свою чергу визначає u як наступник для стрибка точки h_{jp} .

Для дослідження ефективності обраного алгоритму пошуку оптимального маршруту було проведено порівняння алгоритмів Дейкстри, A^* , стрибкові точки (JPS).

Тому представимо карту u у вигляді матриці $[M, N]$, де M – кількість точок по осі X , N – кількість точок по осі Y .

Будемо розглядати три види матриць:

1. $[1,10]$, $[2,10]$, $[4,10]$.
2. $[1,30]$, $[2,30]$, $[4,30]$.
3. $[1,40]$, $[2,40]$, $[4,40]$.

Детальні результати досліджень наведені в таблицях 2.1, 2.2 і 2.3, t – час роботи алгоритму в мілісекундах, N – кількість проходів.

В дослідженнях розглядаємо рух між двома точками. Для кожної матриці:

- в матриці $[1,10]$ рух з точки $[1,0]$ до $[1,10]$;
- в матриці $[2,10]$ рух з точки $[2,0]$ до $[2,10]$;
- в матриці $[4,10]$ рух з точки $[4,0]$ до $[4,10]$;
- в матриці $[1,30]$, рух з точки $[1,0]$ до $[1,30]$;
- в матриці $[2,30]$ рух з точки $[2,0]$ до $[2,30]$;
- в матриці $[4,30]$ рух з точки $[4,0]$ до $[4,30]$;
- в матриці $[1,40]$ рух з точки $[1,0]$ до $[1,40]$;
- в матриці $[2,40]$, рух з точки $[2,0]$ до $[2,40]$;
- в матриці $[4,40]$ рух з точки $[4,0]$ до $[4,40]$.

Таблиця 2.1

Результати для першого виду матриць

Алгоритм	[1,10]		[2,10]		[4,10]		Σt , мс	ΣN
	t, мс	N	t, мс	N	t, мс	N		
Дейкстри	6,43	420	27,34	1811	119,33	7286	153,1	9517
A*	11,17	334	16,57	953	67,53	4203	95,217	5490
Стрибкові точки	2,37	80	13,07	446	48,74	2408	64,18	2934

Таблиця 2.2

Результати для другого виду матриць

Алгоритм	[1,30]		[2,30]		[4,30]		Σt , мс	ΣN
	t, мс	N	t, мс	N	t, мс	N		
Дейкстри	26,88	1636	97,31	6133	411,8	25088	535,99	32857
A*	22,69	1286	54,57	3397	247,74	13946	325	18629
Стрибкові точки	9,64	208	28,2	1356	120,78	6152	158,62	7716

Таблиця 2.3

Результати для третього виду матриць

Алгоритм	[1,40]		[2,40]		[4,40]		Σt , мс	ΣN
	t, мс	N	t, мс	N	t, мс	N		
Дейкстри	50,72	3224	218,38	11415	838,62	48448	1107,72	63087
A*	41,63	2540	128,93	7142	456,03	25282	626,59	34964
Стрибкові точки	7,59	320	48,96	2104	236,27	9836	292,82	12260

Після проведення практичного порівняння для роботи був обраний алгоритм JPS. Як видно з таблиці порівнянь даний алгоритм має пріоритет в швидкості виконання від 103 до 248%, а в кількості проходів пріоритет від 157 до 360%, та на відміну від подібних алгоритмів JPS не вимагає попередньої обробки і додаткових витрат пам'яті.

2. 2 Розроблення моделі обробки голосової навігації в СПНВП

Голосовий навігатор повинен допомогти людині орієнтуватися в будівлі, використовуючи тільки голос. Однак для коректного обміну інформацією між користувачем і застосунком повинен бути розроблений модуль представлений на рис1.2, який може розпізнавати мовні сигнали.

Розпізнавання мовлення – це процес перетворення мовного сигналу в текстовий потік.

Цей процес часто використовується в технологіях, які дозволяють керувати комп'ютером або мобільним пристроєм за допомогою людського голосу і дозволяє користувачам диктувати, а не друкувати [83].

Сучасні системи розпізнавання мов базуються на принципах визнання форм розпізнавання. Методи та алгоритми можна розділити на чотири основні класи: методи дискримінантного аналізу, засновані на байєсівській дискримінації; приховані моделі Маркова; динамічне програмування – часовий динамічний алгоритм (DTW); нейронні мережі. Процес розпізнавання мови включає наступні етапи [15]:

Крок 1. Вхід системи для ідентифікації поточного місця розташування S є вхідними даними X . Одним з вхідних параметрів є голосове повідомлення $x_{гол}$.

Крок 2. Голосове повідомлення $x_{гол}$ починається з одного з ключових слів: «запуск навігації», «побудова маршруту», «скасування», «зупинка вихідної позиції», «призначення», потім надходить на детектор аудіо подій, який дозволяє виявляти присутність (появу) звукового сигналу.

Для розпізнавання мови була використана прихована марківська модель, тобто статистична модель з невідомими параметрами і завданням розгадування невідомих параметрів на основі спостережуваних.

Завданням розпізнавання є зіставлення набору акустичних ознак мовного сигналу або спостережень $x_{\text{гол}} = \{o_{\text{гол}1}, o_{\text{гол}2}, \dots, o_{\text{гол}A}\}$ послідовності слів $W (w_1, \dots, w_k)$, що мають найбільшу імовірність правдоподібності серед всіх претендентів:

$$W = \underset{W}{\operatorname{argmax}} P(W|x_{\text{гол}}), \quad (2.4)$$

де $o_{\text{гол}A}$ – скінченний набір A , можливих символів в спостережуваній послідовності (розмір алфавіту).

Використовуючи теорему Байеса:

$$W = \underset{W}{\operatorname{argmax}} P(W)P(x_{\text{гол}}|W), \quad (2.5)$$

де $P(x_{\text{гол}} | W)$ – акустична модель (імовірність створення даної послідовності $x_{\text{гол}}$ з даної послідовності слів W), $P(W)$ – імовірність існування в розглянутій мові даної послідовності слів.

Система розпізнавання порівнює вхідний мовний сигнал з фоном, а з них вони збирають слова. Рис.2.3.

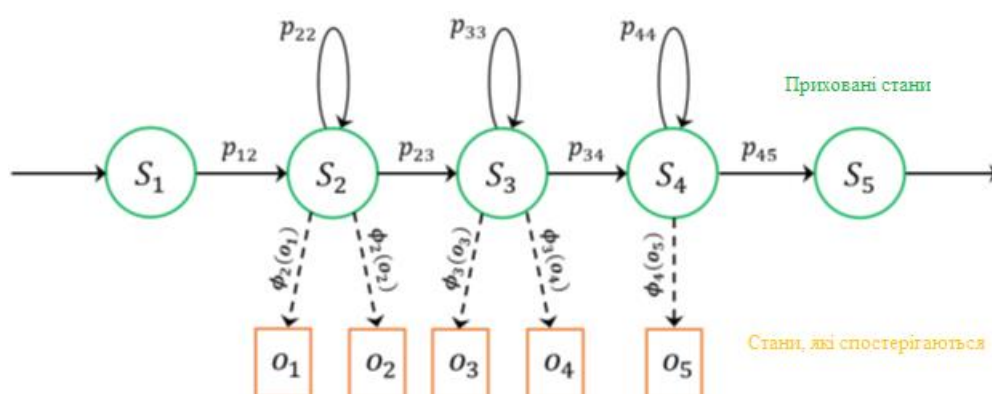


Рис. 2.3. Акустична модель

Крок 3. Цей крок визначає певну аудіо-подію імовірно. Тобто запис поділяється на кадри і кожен кадр пропускається через акустичну модель, яка є функцією, що приймає на вхід ділянку невеликого звукового сигналу (фрейм) і видає розподіл імовірностей різних фонем на цьому фреймі. На основі акустичної моделі можна з певним ступенем упевненості відновити те, що було виголошено. Точність результатів залежить від повноти фонетичного алфавіту системи.

Розглянемо систему, яку в будь-який момент часу можна описати одним з станів $L = \{l_1, l_2, \dots, l_v\}$, де V – кількість станів.

Таким чином, марковською моделлю $\lambda = (P, U, D)$ акустичної моделі називається набір з одного або декількох станів l_v , що характеризуються нижче перерахованими параметрами.

Розподіл імовірностей символів в спостережуваній послідовності:

$$U = \{ \varphi_i(o_{\text{гол}i}) \} \quad (2.6)$$

де $\varphi_i(o_{\text{гол}i})$ – імовірність того, що символ $o_{\text{гол}i}$ буде спостерігатися в системі, яка знаходиться в стані l_j ; •

$D = \{d_i\}, 1 \leq i \leq E$ – розподіл імовірностей початкового стану, де d_i – імовірність того, що l_i – початковий стан системи.

Систему можна описати матрицею переходів імовірності $P = \{p_{ij}\}$, де p_{ij} – імовірність переходу системи з стану l_i в стан l_j .

Подальше відновлення найбільш імовірної послідовності прихованих станів дозволяє виконати алгоритм Вітербі (алгоритм пошуку найбільш відповідного списку станів). Для цього визначимо імовірність найкращого шляху:

$$\beta_t(i) = \max_{l_1 l_2 \dots l_{t-1}} P(l_1 l_2 \dots l_{t-1} l_t = l_i, o_{\text{гол}1}, o_{\text{гол}2}, \dots, o_{\text{гол}t} | \lambda) \quad (2.7)$$

де $\beta_t(i)$ – імовірність найбільш правдоподібної послідовності станів, що закінчується в момент часу t станом l_i .

З введеними позначеннями алгоритм Вітербі має такий вигляд:

ініціалізація:

$$\beta_1(i) = D_i U_i(o_{\text{гол1}}), \quad (2.8)$$

індукція:

$$\beta_{t+1}(i) = U_i(o_{\text{гол}t+1}) [\sum_{j=1}^N \beta_t(j) p_{ij}], \quad (2.9)$$

завершення:

$$F = P(x_{\text{гол}} | \lambda) = \sum_{j=1}^N \beta_T(j), \quad (2.10)$$

Крок 4. По території будівлі прикріплені маяки BLE 4.0. на кожному з них записані ключові фрази відповідно до їх розташування. Наприклад, маяки біля виходу помічені фразою "вихід", маяки в аудиторіях помічені номером аудиторії. Тому на наступному етапі для кожної з отриманих послідовностей F_i підмножини F необхідно поставити у відповідне значення маяка з підмножини G .

Для цього була сформована база правил Q , яка для кожного з маяків виведення типу «ЯКЩО – ТО».

Попарні порівняння кількості співпадань в підмножинах F_i та G_j представляємо матрицею відносин $A^F = \{a_{ij}^F\}$ при :

$$a_{ij}^F = \frac{\alpha}{\min(|F_i|, |G_j|)} \quad (2.11)$$

де α – кількість співпадаючих елементів в парі порівнюваних підмножин F_i і G_j .

Крок 5. Для введення нечіткості визначається співвідношення кількості співпадаючих елементів для всіх можливих поєднань пар підмножин F_i і G_j за допомогою термів T_i {співпадає, частково співпадає, не співпадає}.

Логічний висновок здійснюється з використанням бази правил нечіткого виведення Q. Оскільки допускається застосування декількох нечітких правил, в системі передбачений блок агрегування, який формує на виході системи матрицю $Prav = \{prav_{ij}\}$, де $prav_{ij}$ – окремі ступені належності.

Виходячи з лінгвістичних значень $Prav$ – всі значення голосових повідомлень, які мають статус «співпадає» та мають співпадання з картою M на N – отримуємо координати необхідного маяка. Тоді буде справедливий запис:

$$\text{IF } Prav = \text{"співпадає"} \text{ THEN } M=X_i \text{ AND } N=Y_i \quad (2.12)$$

Після отримання результату ми отримаємо необхідний маяк, після чого порівнюємо його з базою маяків для отримання координат.



Рис.2.4. Модель голосової навігаційної системи

Крок 5. Після запити команди будуть зіставлені з вихідними даними, які включають: розклад, групові списки, розміщення і карти будівлі та кожного поверху, список аудиторій.

Крок 7. Далі, за допомогою вбудованого методу буде визначено поточну позицію на карті кімнати.

Крок 8. Після чого, дані потребують верифікації. Для цього поставлено завдання розробити нейро-нечіткий метод верифікації.

Крок 9. Після обробки системи ми отримуємо повідомлення z_2 і маршрут будується [21].

На основі розглянутих етапів була розроблена модель навігаційної системи.

2.3. Інтегрований метод визначення поточного положення

Для визначення позиції в системах геолокації з використанням технології BLE, необхідно розташувати в приміщенні Beacon-маячки так, щоб вони покривали всю площу і прив'язати їх до координатної сітки на карті [79,81]. Далі завдяки призначеному для користувача застосунку, який циклічно отримує дані, порівнює з базою даних і визначає координати. Для коректного визначення позиції в системах геолокації розглянемо інтегрований метод визначення поточної позиції на карті.

Спочатку необхідно визначити систему координат. Висота маяка – координата z_m завжди більше ніж висота будь-якого об'єкта на полі, в тому числі користувача. Крім того різниця висот між випромінювачем і приймачем менша, ніж відстань між маяками. Це дозволяє поєднати систему відліку в площину електронної плати маяка і прирівняти її до 0.

Таким чином, $z_{m_i} = 0$ $i = 1,2,3$ [14]. Далі розглядаємо місце положення в двох площинах X і Y . Точки будуть позначатися x_{m_i} , y_{m_i} , де $i = 0,1 \dots n$.

Далі необхідно визначити поточний стан двома способами:

1) По RSSI, відповідно до вираження (2.1)

При різних значеннях RSSI відповідно отримані різні координати x_1 , y_1

2) По трьох точках, за формулою (2.2).

По теоремі Піфагора визначаємо координати x_2 , y_2 .

Завантажуємо карту приміщення і визначаємо теоретичний маршрут, який представлений у вигляді масиву $[X_B, Y_B]$, де $X_B = \{x_{b1}, x_{b2} \dots x_{b_i}\}$, $Y_B = \{y_{b1}, y_{b2} \dots y_{b_i}\}$, $i = 1,2 \dots n$.

Використовуючи данні з акселерометра (2.3) та рівняння координати можемо розрахувати положення:

$$x_{мз} = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad (2.13)$$

де x_0 - початкова координата.

Для відновлення координат в реальному часі можна використовувати фільтр Калмана, Калмана - Бьюси, гібридний фільтр Калмана. Розглянемо переваги використання фільтра Калмана [84]. Фільтр прибирає шуми вимірювання (випадкові сплески) і видає результат як з урахуванням результатів поточних вимірювань, так і з урахуванням передбачених результатів на основі минулих вимірів. Фільтр використовує динамічну модель системи (закон руху) і дві повторювані циклічно стадії: передбачення і коригування. На першому етапі – передбачення – розрахування стану системи в наступний момент часу, а на другому – коригування – коригується прогноз, використовуючи результат чергового вимірювання.

Тому необхідно провести апроксимацію маршруту з використанням фільтра Калмана. Використовуючи вирази (1.12) – (1.16) – отримуємо координати x_4, y_4

Для коректного результату необхідно розрахувати похибку для сигналу RSSI та акселерометру. Так як похибка за акселерометром є змінною та відомою величиною для кожного пристрою, то розрахуємо похибку за сигналом RSSI:

$$\Delta RSSI = 20 \lg \frac{\lambda}{4\pi d_{RSSI}} \quad (2.14)$$

де λ – довжина хвилі, d_{RSSI} – відстань до маяка.

Порівняння розрахунків, теоретичного і апроксимованого маршруту.

Крок 7. Відображення положення на карті:

1) розраховуємо середнє значення координат:

$$\bar{x}_m = \frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^1 x_{mi} \quad (2.7)$$

$$\bar{y}_m = \frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^1 y_{mi} \quad (2.8)$$

- 2) порівнюємо отримані результати з x_6, y_6 ;
- 3) визначаємо найближчі до базових точки і наносимо на карту.

На основі проведених досліджень було отримано інтегрований метод визначення поточного розташування. Розроблений метод було використано в рамках дисциплін «Фізичні основи сучасних інформаційних систем» на кафедрі програмних засобів для студентів спеціальності «Комп'юторні науки» (Додаток А). Дослідження наведено у розділі 2.4.

2.4. Дослідження інтегрованого методу визначення поточного положення всередині приміщення

Для дослідження інтегрованого методу навігації всередині приміщення необхідно розглянути способи визначення поточного положення на основі різних технологій. Для порівняння було взято 20 вимірів та способи на основі: отримання RSSI, показників акселерометра та розробленого методу. Результати представлені у таблиці 2.4.

Провівши аналіз методів на основі показників RSSI, інерційної системи та розробленого методу можна зробити висновок, що інтегрований метод поступається швидкістю. Але за рахунок використання даних з декількох методів та корегування результату фільтром Калмана, має досить високу точність.

Таким чином, отримано інтегрований метод визначення поточного положення на карті приміщення, заснований на аналізі сигналу від iBeacon і акселерометра, модифікований методом Калмана, що дозволяє оперативно корегувати значення поточного становища і дозволяє зменшити похибку на 3%.

Таблиця 2.4

Порівняльна характеристика методів визначення поточного положення.

Показник	RSSI	ІНС	Інтегрований метод
Середнє значення	5.9	7	3.3
σ^2	6.8	8.16	1.04
$\sqrt{\sigma^2}$	2.6	2.9	1.01

2.5 Висновки до розділу 2

Одним з найважливіших завдань, що вирішуються при створенні систем позиціонування і навігації всередині приміщення є забезпечення їх якості.

Було отримано дані про поточне положення з використанням різних способів: показники маяків BLE 4.0, дані з карти, показники акселерометра, голосові повідомлення.

Для відображення положення на карті необхідно мати картографічне представлення приміщення із зазначеним становищем кожного iBeacon-маячка, що дозволить прокласти маршрут. Для цього був використаний алгоритм для пошуку найкоротшого шляху через дві точки під назвою Jump Point Search.

Отримав подальшого розвитку метод корегування маршруту, який на відміну від існуючих, використовує фільтр Калмана та метод стрибкових точок, що дозволяє проводити перевірку з рівнем помилки до 4,7%.

Була побудована акустична модель, яка може розпізнавати мовні сигнали. Також була розроблена модель голосової навігаційної системи, в якій показано етапи роботи голосового навігатора, починаючи з вхідного повідомлення та його

перетворення і до моменту побудови маршруту. Удосконалено модель голосової навігаційної системи за рахунок використання методу голосової навігації, що дозволяє використовувати голосові команди для формування вхідних та вихідних параметрів систем позиціонування та навігації всередині приміщення.

Розроблено інтегрований метод визначення поточного положення на карті приміщення, заснований на аналізі сигналу від iBeacon і акселерометра, модифікований методом Калмана, що дозволяє оперативно коригувати значення поточного положення і дозволяє зменшити похибку на 3%.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ І МОДЕЛІ ВЕРИФІКАЦІЇ ДЛЯ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ І НАВІГАЦІЇ ВСЕРЕДИНИ ПРИМІЩЕННЯ

Завдання створення точної, надійної та якісної системи навігації в приміщеннях є досить актуальним, оскільки на даний час не існує технології, порівнянної з GPS для досліджуваних систем. Велика кількість робіт присвячена завданням визначення місця розташування та організації зв'язку пристроїв, передачі та зберігання даних. При створенні даних систем для підвищення якості необхідно проводити ідентифікацію помилок у реальному часі, зберігання та реалізацію контрзаходів. Метою методів перевірки системи навігації є моніторинг якості систем реального часу та виявлення в них помилок [84].

У даному розділі запропоновано комплексний підхід до верифікації систем навігації всередині приміщення і перевірку, запропонованого підходу, за допомогою програмного забезпечення для моделювання.

3.1 Модель навігаційної системи

Візьмемо за основу архітектуру системи навігаційного управління, яка складається з трьох рівнів: логічний, проміжний і реактивний рис. 1.1. Модифікована архітектура містить наступні елементи: планувальник місій, блок картографічного представлення, блок верифікації, блок голосової навігації, блок виведення повідомлень.

Блок верифікації виконує наступні завдання:

- отримує дані про поточне положення;
- визначає рівень помилок картування відповідними термами;
- формує нейронну мережу та навчає її;
- виконує перевірку точності поточного положення.

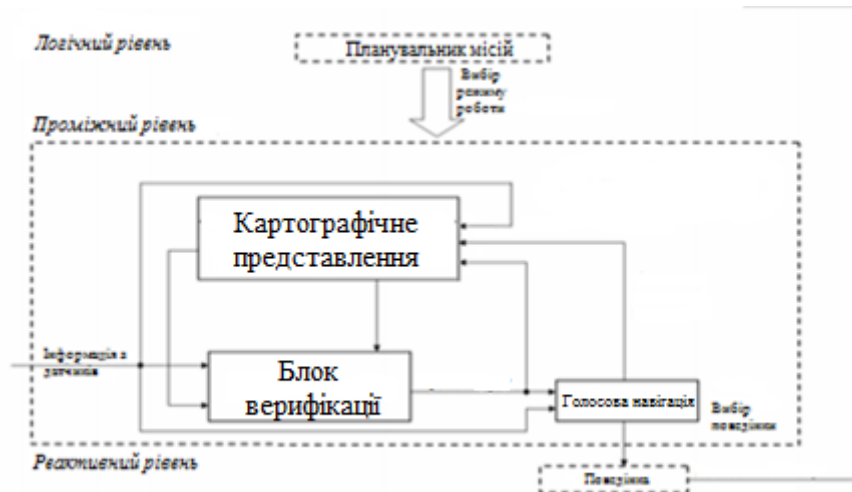


Рис. 3.1. Модифікована архітектура СПНВП

Рівень помилок картування визначимо термами: без помилок, працює з помилками, недопустима кількість помилок.

Також вхідні дані можуть бути і у вигляді лінгвістичних змінних, наприклад, голосові команди можуть приймати значення: «вліво», «вправо», «прямо».

Тому необхідно розробити метод для реалізації блоку верифікації відповідності поточного розташування згідно карти приміщення.

3.2 Нейро-нечіткий метод верифікації систем навігації з використанням самоорганізованих карт Кохонена

Критерії верифікації системи можуть бути числовими: метрика евклідових просторів, метрика простору Маньківського, коефіцієнт надійності на основі резервних копій, похибка визначення координат фільтром Калмана, похибка визначення кутів, показник прискорення згідно акселерометру, швидкість накопичення помилок визначення координат [85].

Лінгвістичні змінні ускладнюють перевірку системи і для того, щоб вони стали повноправними математичними об'єктами, необхідно, щоб теорія нечітких множин включала в себе звичайні множини як окремий випадок [86]. Для

проведення верифікації системи змінними будемо розглядати нейро-нечіткі мережі.

Нейро-нечітка мережа представлена у вигляді багатошарової нейронної мережі, кожен шар якої відповідає за певний крок алгоритму логічного висновку рис. 3.2.

Алгоритм верифікації системи за допомогою нейро-нечіткої моделі має вигляд [18, 22]:

- 1) формування нейронної мережі;
- 2) навчання нейронної мережі;
- 3) подача на вхід модуля нечіткого виведення параметрів верифікації;
- 4) отримання вихідного значення.

Для вилучення бази знань з навчальної вибірки використовуємо самоорганізовані карти Кохонена.

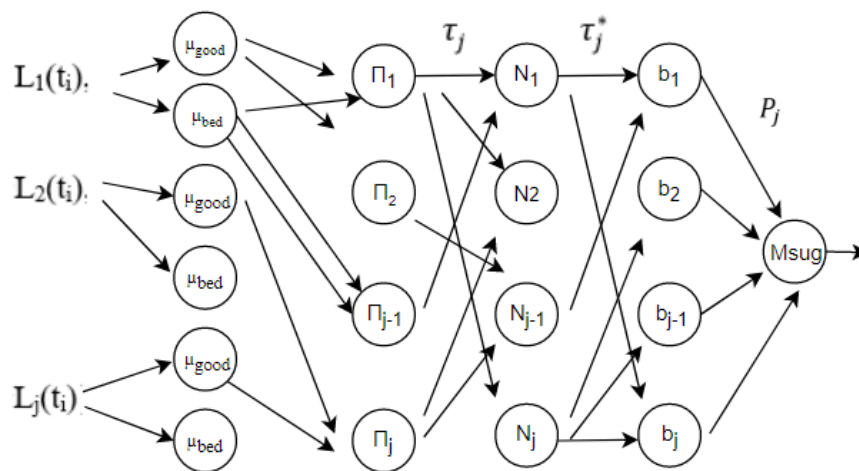


Рис. 3.2. Структура нейро-нечіткої мережі

При використанні нечіткої логіки існує два підходи. Перший – типу Сугено має систему правил з нечіткими умовами та чітким виходом. Другий – Мамдані має нечіткі умови та вихід [87]. Для розробленої системи важливою умовою є нечіткий вхід та нечіткий вихід. Тому для подальшої роботи було прийнято рішення використовувати підхід типу Мамдані.

Для вирішення завдання за допомогою машини логічного висновку типу Мамдані введемо лінгвістичну змінну $Q_j(t_i)$ «Характер роботи системи в момент часу t_i » з термами «good» (good, «без помилок»), «works with errors» (wwe, «працює з помилками»), «bed» (bed, «недопустима кількість помилок»). Нехай терми мають такі функції належності типу «кластер», певні на універсальній множині $U \in [2, J]$:

$$\mu_{good} = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_1(u - c_1))}, \quad (3.2)$$

$$\mu_{wwe} = \exp\left(-\frac{(u - c_2)^2}{a_2}\right), \quad (3.3)$$

$$\mu_{bed} = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_3(u - c_3))}, \quad (3.4)$$

де $a_1, a_2, a_3, c_1, c_2, c_3$ – налаштовані параметри.

Нехай $Q_j(t_i)$ обробляється машиною нечіткого виводу типу Мамдані на вхід якої подається кортеж величин:

$$D_j(t_i) = \{L_1(t_i), L_2(t_i), \dots, L_j(t_i)\}, \quad (3.5)$$

де $L_j(t_i)$ – величина кортежу в момент часу t_i .

На виході формується числове значення поточного положення $m_{mam}(t_i)$. При нейро-нечіткому підході в вузлах першого шару розраховуються значення функції належності $\mu_{good}(u)$, $\mu_{wwe}(u)$, $\mu_{bed}(u)$.

Таким чином, можна записати правило типу Мамдані:

П1: якщо $L_1(t_i)$ = без помилок, $L_2(t_i)$ = без помилок, ..., $L_j(t_i)$ = без помилок то $m_{mam}(t_i) = \mu_{good}(u)$.

П2: якщо $L_1(t_i)$ = без помилок, $L_2(t_i)$ = без помилок, ..., $L_j(t_i)$ = з помилками то $m_{mam}(t_i) = \mu_{wwe}(u)$.

П3: якщо $L_1(t_i)$ = без помилок, $L_2(t_i)$ = без помилок, ..., $L_j(t_i)$ = недопустима кількість помилок то $m_{mam}(t_i) = \mu_{bed}(u)$.

Вузли другого шару відповідають посиленням j нечітких правил. Виходами кожного вузла другого шару є ступінь виконання j -го правила, яка розраховується як добуток вхідних сигналів.

Вузли третього шару розраховують відносну ступінь виконання кожного нечіткого правила за формулою:

$$\tau_j^* = \frac{\tau_j}{\sum_{k=1}^j \tau_k}. \quad (3.6)$$

Вузли b_1, b_2, b_j четвертого шару формують заключення нечітких правил, фактично b_j – значення виходу мережі при однозначному виконанні j -го правила. Кожен вузол з'єднаний з одним з вузлів третього шару та розраховує вклад одного нечіткого правила:

$$P_j = b_j \tau_j^*. \quad (3.7)$$

Єдиний вузол п'ятого шару агрегує результат, отриманий різними правилами, сумуючи внески всіх правил.

$$U = \sum_{k=1}^j P_j. \quad (3.8)$$

Навчання починається з налаштування параметрів функції належності $a_1, a_2, a_3, c_1, c_2, c_3$ та коефіцієнтів вузлів четвертого шару, який визначається заключеннями нечітких правил.

Мережа Кохонена навчається методом послідовних наближень. В процесі навчання таких мереж на входи подаються дані, але мережа при цьому підлаштовується не під еталонне значення виходу, а під закономірності у вхідних даних. Починається навчання з обраного випадковим чином вихідного розташування центрів i / або їх ваг.

Повний алгоритм навчання складається з наступних кроків:

1. На стадії ініціалізації всім ваговим коефіцієнтам привласнюються невеликі випадкові значення.

2. На входи мережі подається вхідне значення, і для кожного нейрона розраховується зважена сума його входів, до якої потім застосовується активаційна функція нейрона, в результаті чого виходить його вихідне значення m_{max} .

3. Вводиться деяка функція близькості згідно якої вибирається "переможець". Види функцій близькості:

– відстань Евкліда:

$$D_e(L_i(t_i)L_j(t_i)) = \sqrt{\sum_{l=1}^{Raz} (L_{jl}(t_i) - L_{il}(t_i))^2}, \quad (3.9)$$

де Raz – розмірність вхідного образу.

– відстань за Хемінгом:

$$D_x(L_i(t_i)L_j(t_i)) = \sum_{l=1}^{Raz} |L_{jl}(t_i) - L_{il}(t_i)|, \quad (3.10)$$

– відстань за Чебишевим:

$$D_{\text{ч}}(L_{1i}(t_i)L_j(t_i)) = \max_{1 \leq l \leq Raz} |L_{jl}(t_i) - L_{il}(t_i)|, \quad (3.11)$$

Нейрон, для якого значення функції близькості між вхідним вектором, що характеризує певне значення, і вектором вагових коефіцієнтів мінімально (максимально, якщо в якості опції близькості використовується скалярний добуток), оголошується "переможцем".

4. Після визначення нейрона-переможця його вагові коефіцієнти, а також вагові коефіцієнти нейронів, що знаходяться поблизу в топологічній решітці, підлаштовуються..

5. Цикл з кроку 2 виконується, поки вихідні значення мережі не стабілізуються із заданою точністю.

На другому кроці циклу поперемінно подаються всі значення з вхідного набору.

При навчанні значення, які характеризується вхідним вектором, відноситься до класу, який представляється "нейроном-переможцем". В результаті здійснюється перетворення Raz -мірного вхідного простору на p -мірну сітку шару Кохонена. Відмітна особливість цього відображення – формування кластерів або класів. По завершенні процесу самонавчання на стадії використання мережі невідомі вхідні образи відносяться до одного з виявлених класів.

При використанні навчання, за алгоритмом Кохонена, існує практика нормалізації початкових значень вагових коефіцієнтів вхідних образів на стадії ініціалізації [18].

$$L_i(t_i) = \frac{L_i(t_i)}{\sqrt{\sum_{l=1}^{Raz} (L_{jl}(t_i))^2}}. \quad (3.12)$$

Дана практика дозволяє скоротити тривалість процесу навчання.

Таким чином, система повинна пройти кілька етапів: фазицікація, розрахунок прихованого шару та дефазифікація.

Фазифікація:

$$p_{ij} = \frac{1}{2\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(L_i(t_i) - m_{vij})^2}{2\sigma_{ij}^2}} \quad (3.13)$$

де m_{vij} – математичне сподівання, σ_{ij} – середньоквадратичне відхилення функції належності.

Прихований шар:

$$s_j = \min_i (p_{ij}) \quad (3.14)$$

Дефазифікація:

$$m_{mam_k} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{Br}} v_{jk} s_j}{\sum_{j=1}^{N_{Br}} s_j} \quad (3.15)$$

де v_{jk} – оцінка вихідного значення k нейрона відносно j нейрона в прихованому шарі.

Для навчання спочатку вибираємо чергове спостереження $R_B(o)$ та знаходимо значення найближчого вектора ваг в деякій метриці (BMU/Winner)

$$\|R_B(o) - W_{j_{winner}}\| \leq \|R_B(o) - W_i\|, \forall i \in [1, N] \quad (3.8)$$

Зміна знайденого і сусідніх векторів з метою наближення до спостереження

$$W_j(t+1) = W_j(o) + \alpha(o) \cdot e^{-\frac{|j-j_{winner}|^2}{2\sigma(o)^2}} \cdot (R_B(o) - W_j(o)) \quad (3.9)$$

де $0 < \alpha(o) < 1$ – швидкість навчання, $\sigma(o)$ – функція, яка зменшує число сусідів з кожною ітерацією.

Далі отримаємо початкове наближення бази знань та оптимізуємо кількість правил:

$$\|W_j\| = \frac{(\|W_j\| + \|W_i\|)}{2} \forall i \leq j, j \in [1, N] \quad (3.10)$$

Для навчання подається навчальна вибірка $R_B(o)$ та темп навчання α . Далі необхідно ініціювати ваги $W_j(t) = \text{random} \left(-\frac{1}{2NM}, \frac{1}{2NM} \right)$. Після чого об'єкт з вибірки знаходиться випадковим чином, використовуючи правила жорсткої конкуренції та м'якої конкуренції.

Правило жорсткої конкуренції WTA (winner takes all): розраховує координати вузла, в який проектується об'єкт $R_i : (m_i, n_i) := a(R_i) \equiv \arg \min \rho(R_i, w_{mn})$; для всіх $(m, n) \in m_{\text{max}}(t)$.

Правило м'якої конкуренції WTM (winner takes most): робить крок градієнтного спуску: $w_{mn} := w_{mn} + \alpha(R_i - w_{mn}) K r((m_i, n_i), (m, n))$, доки розміщення об'єктів в вузлах мережі не стабілізується.

На завершальному етапі навчання необхідно провести підстроювання всіх змінних параметрів (параметрів функцій належності). Для цього використовуємо

алгоритм нормалізованих найменших квадратів – normalized least mean square (NLMS). Нормування необхідно для збіжності цього методу навчання.

Необхідно обчислити похибку поточного положення:

$$\varphi = \frac{1}{2} \sum_1^{Raz} (m_{mat_k} - \overline{m_{mat_k}})^2 \quad (3.18)$$

Далі підлаштовуємо параметри:

$$m_B(o+1) = m_B(o) - \frac{\mu_B \cdot \partial \varphi}{\partial m_B(o)} \quad (3.19)$$

де μ_B - швидкість навчання, m_B – математичне очікування.

Модифікуємо базову систему формула 1.1, що використовує для ідентифікації поточного розташування дані від маячків на основі BLE 4.0:

$$S_{sys} = \langle X, B, R, Z, K, \varphi \rangle, \quad (3.20)$$

де φ – похибка поточного положення.

Для апробації розробленого методу необхідно провести симуляцію, для реалізації якої використано програмно-апаратний комплекс LabView.

3.3 Дослідження моделі нейро-нечіткої верифікації систем позиціонування і навігації всередині приміщення

Для реалізації моделі використовувався програмно-апаратний комплекс LabView 2012 [88]. Розроблена модель показана на рис. 3.3. [22].

Спочатку формуємо список правил для нейрон-нечіткої мережі. Потім на вході нейронної мережі результат руху робота фільтрується з використанням інтегрованого методу для визначення поточного положення.

Для навчання нейронної мережі ми використовуємо оціночні значення. Щоб отримати навчальну вибірку, спочатку потрібно обчислити дані RSSI (рис. 3.3). Для цього показання RSSI зчитуються з файлу і подаються на вхід обчислень з використанням вузла, на який написана формула.

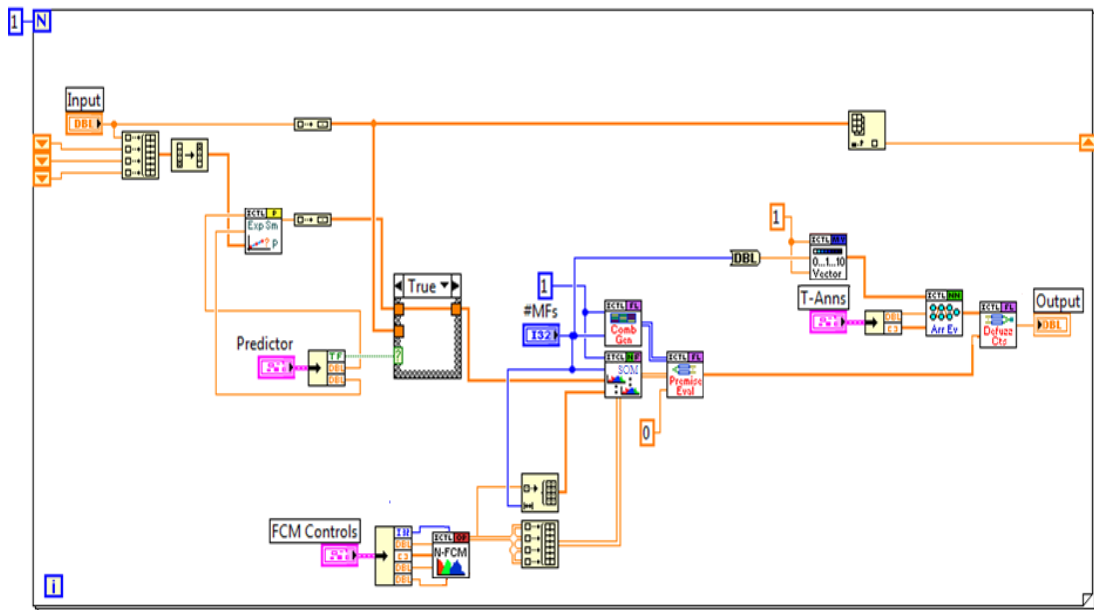


Рис. 3.3. Модель нейро-нечіткої верифікації

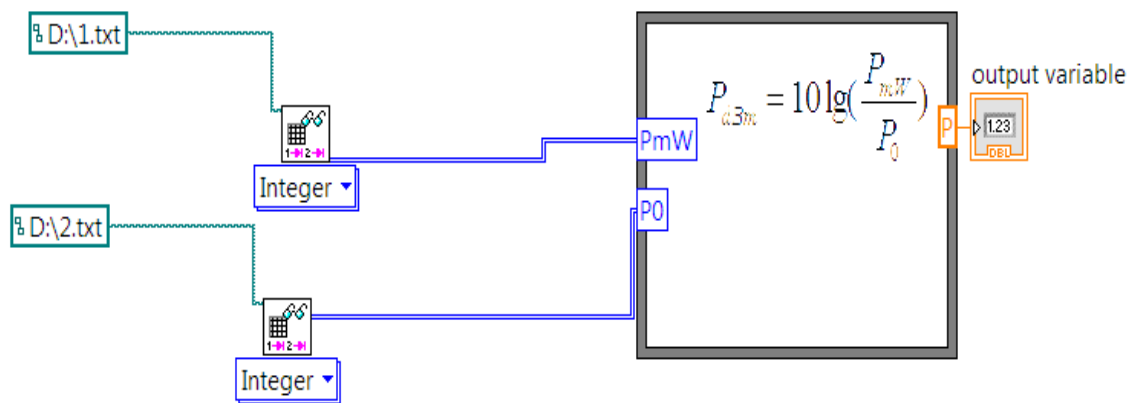


Рис. 3.4. Отримання даних RSSI

Потім обчислюємо поточну позицію по трьом точкам. Для цього висота маяка і відстань уздовж лінії зчитуються з файлу і подаються на вхід обчислень з використанням вузла, на який написана формула (рис.3.5). І по теоремі Піфагора обчислюється відстань.

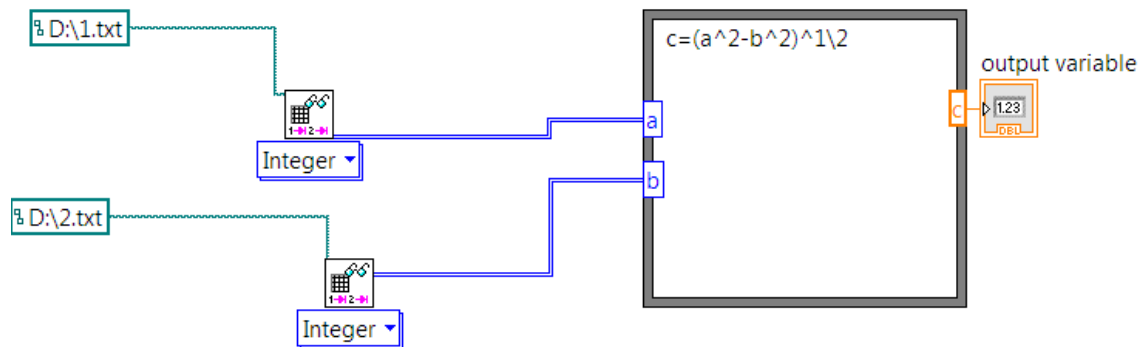


Рис. 3.5. Отримання даних за трьома точками

Далі визначаємо поточну позицію за допомогою акселерометра (рис. 3.6). Для реалізації використовувалися оператори VISA. Результати програми записуються в файл.

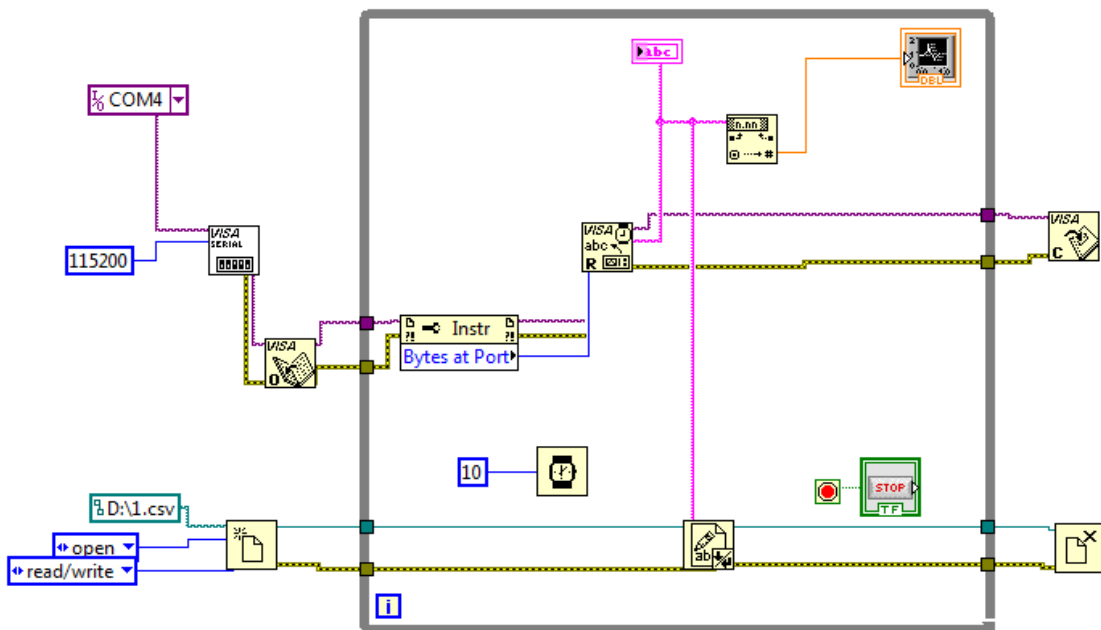


Рис. 3.6. Отримання даних за допомогою акселерометра

Устаткування було запрограмовано так, щоб дані подавалися на послідовний серійний порт. Для розробки схеми спочатку був використаний оператор, який дозволяє користувачеві можливість вибрати який саме серійний

порт буде використовуватися і встановити швидкість обміну даними. За замовчуванням швидкість обміну даними дорівнює 9600, але для коректного відображення її необхідно змінити на 115200. Далі відкривається цикл, в якому прочитуються дані і будується графік залежності навантаження від часу. Для того, щоб зробити активною умову для зчитування інформації, необхідно перевірити її наявність на серійному порту. Для цього за допомогою оператора перевіряється кількість байтів на серійному порту і порівнюється з 0. За умови, що кількість байт більше 0 починає виконуватися цикл. Після зчитування дані конвертуються з рядка в число, записуються в буфер і будується графік. З моменту початку циклу відкривається файл з розширенням .csv і в нього ведеться запис даних до закінчення циклу. Після закінчення циклу підключення закривається.

Потім наближаємо маршрут, використовуючи фільтр Калмана. Блок з фільтром Калмана показаний на рис. 3.7.

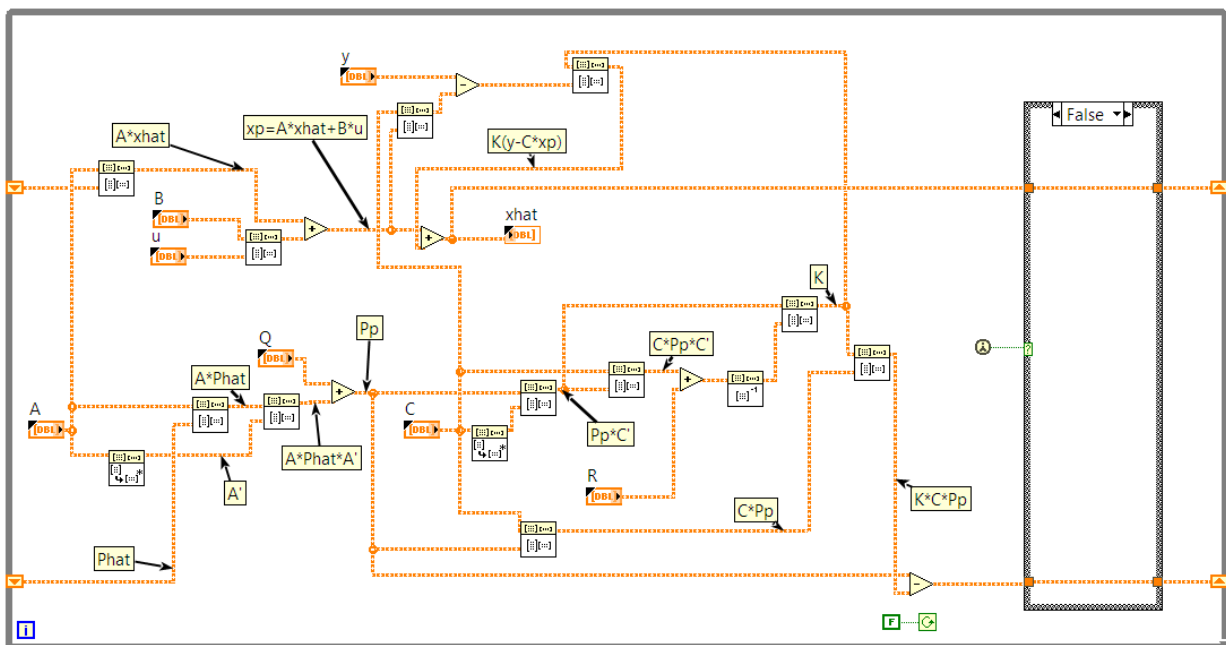


Рис. 3.7. Фільтр Калмана

Потім об'єднуємо всі блоки для отримання середнього значення. Результати подаються з усіх блоків і об'єднуються в масив. Далі потрібно

обчислити середнє значення в кожному рядку масиву. Блок-схема показана на рис. 3.8.

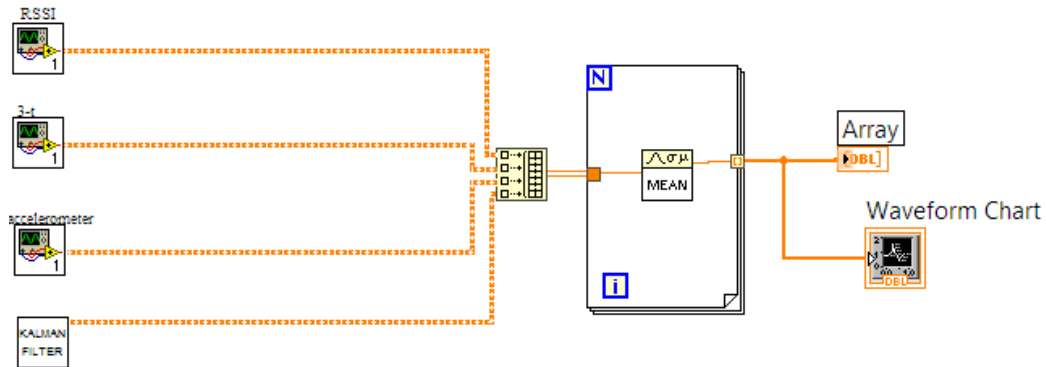


Рис. 3.8. Отримання навчальної вибірки

Потім запускається алгоритм оцінки приміщення та обчислення помилки способом перевірки відповідності нейронної мережі і правил та налаштувань параметрів.

Було визначено модуль для порівняння моделей верифікації. Він складається з двох моделей і перемикача. Таким чином, спочатку відкриваємо файл, з якого збираються дані і передаються відразу двом верифікаторам. Перемикання ключа потрібно, щоб побачити результати одного верифікатора або іншого. Дані відображаються на графіку і записуються в файл.

Крок 7. Процес верифікації показаний на діаграмі компонентів (рис. 3.9). Вона відображає системні компоненти, залежності та відносини між ними. Основний компонент: модуль інтеграції, який призначений для запису даних і відправки їх в верифікатор, який складається з двох моделей. Один заснований на картах Кохонена, а другий – на нейро- нечіткій мережі.

На рис. 3.10 а результат верифікатора на основі самоорганізованих карт Кохонена. Після перемикання ключа в обчисленнях бере участь верифікатор на основі нейро- нечіткої мережі рис. 3.10 б.

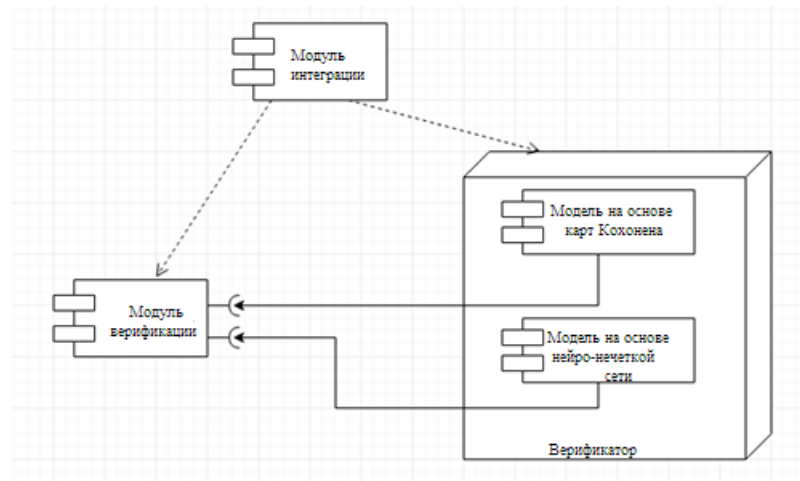


Рис. 3.9. Діаграма компонент

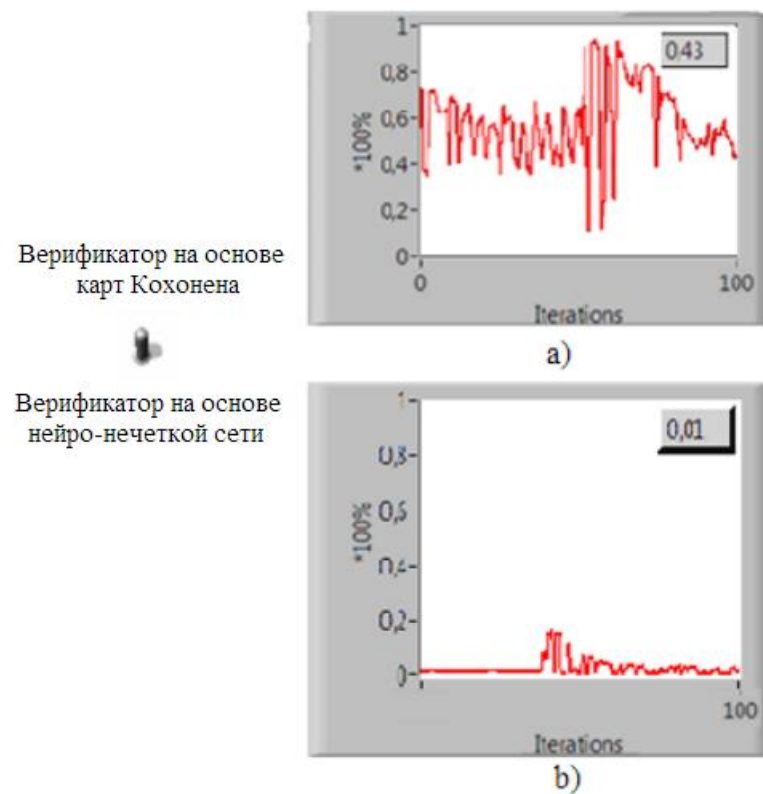


Рис. 3.10. Результат роботи верифікатора

Досягнутий результат збільшує точність, оскільки його можна брати до уваги при побудові інтегрованої моделі системи.

Розроблений метод було використано в рамках дисциплін «Проектування інформаційних систем» на кафедрі програмних засобів для студентів спеціальності «Комп'ютерні науки» (Додаток А).

3.4 Висновки до розділу 3

Була побудована нейро-нечітка система, яка представлена у вигляді багат шарової нейронної мережі, кожен шар якої відповідає за певний крок алгоритму логічного висновку. Використання даної моделі дозволяє здійснити витяг бази даних знань в цілому, що робить реалізацію більш гнучкою.

Були виділені критерії верифікації системи: метрика евклідових просторів, метрика простору Маньківського, коефіцієнт надійності на основі резервних копій, похибка визначення координат фільтром Калмана, похибка визначення кутів, показник прискорення згідно акселерометру, швидкість накопичення помилок, визначення координат, лінгвістичні змінні.

Розроблено метод верифікації систем позиціонування та навігації всередині приміщення на основі нейронних мереж Кохонена та нечіткої логіки, яка, на відміну від існуючих, дозволяє вибирати набір вирішальних правил, перебудовувати структуру при донавчанні, використовувати лінгвістичні правила.

Даний метод був перевірений за допомогою програмно-апаратного комплексу LabView 2012 та інтегрованого методу визначення поточного положення. Для порівняння було проведено експеримент, який складається з двох верифікаторів. Один заснований на картах Кохонена, а другий – на нейро-нечіткій мережі, за допомогою перемикача можна обирати необхідний. Після побудови і навчання нейро-нечіткої моделі на виході отримуємо помилку, де ви знаходитесь, порівнюючи отримане значення і контрольне. У нашому прикладі вона становить від 0.47% до 0.7%.

Сформувавши необхідні методи для оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення, виникає необхідність в розробці інформаційної технології, яка дозволить поєднати ці методи.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ І НАВІГАЦІЇ ВСЕРЕДИНИ ПРИМІЩЕННЯ

Надійність є однією з найважливіших комплексних властивостей якості складних технічних систем, відмова яких може призвести до аварій і надзвичайних подій. За міжнародним стандартом якість – це сукупність характеристик об'єкта, що відноситься до його здатності задовольняти встановлені і передбачувані потреби. Надійність в кінцевому підсумку визначає безпеку функціонування і експлуатаційні (економічні) характеристики систем – характеристики ефективності. Виробничий досвід і теоретичні дослідження свідчать, що не можна домогтися значного збільшення надійності окремими розрізненими засобами. Спільне використання багатьох засобів і методів, об'єднаних в систему, не тільки збільшує ефективність кожного з них, а й дає можливість отримати якісно нові результати.

Інформаційна технологія – це процес, що використовує сукупність засобів і методів збору, обробки і передачі даних для отримання інформації нової якості про стан об'єкта, процесу або явища [89].

Важливими показниками якості СПНВП є достовірність поточного місцезнаходження. Тому для підвищення даного показника був розроблений інтегрований метод визначення поточного положення [14].

Найважливішим завданням при створенні СПНВП є забезпечення їх якості. Тому був розроблений метод нейро-нечіткої верифікації [18, 22].

При застосуванні кожного з розроблених методів можливо підвищити достовірність, але як показав проведений аналіз підходів до оцінювання надійності СПНВП, для ефективності необхідно застосовувати сукупність методів. Тому виникла необхідність розробки інформаційної технології для оцінювання надійності СПНВП, яка дозволить отримувати результати з

сукупності різних джерел. Метою розроблення інформаційної технології – оцінювання параметрів надійності СПНВП.

4.1 Інформаційна технологія оцінювання надійності системи позиціонування та навігації всередині приміщення

Для розроблення ІТОН СПНВП з використанням бездротових систем передачі даних та методів верифікації вбудованих систем були поставлені завдання приведені на рис.4.1.

Таким чином, ІТОН СПНВП складається з п'яти блоків, кожен з яких має свою функцію. Перший блок призначений для збору даних, які можливо отримати різними способами [16, 19]:

- 1) показники маяків BLE 4.0;
- 2) дані з карти;
- 3) дані відеоспостереження;
- 4) показники акселерометра;
- 5) голосові повідомлення.

Другий блок призначений для обробки отриманих раніше даних. На даному етапі застосовується розроблений інтегрований метод визначення поточного положення. Також для пошуку оптимального маршруту використовується метод корегування маршруту. Для використання вхідних даних у формі голосових команд також на етапі обробки даних застосовується метод голосової навігації.

Данні, отримані на другому рівні, потребують подальшої обробки, тому до них застосовується нейро-нечітка система, яка представлена у вигляді багатосарової нейронної мережі, кожен шар якої відповідає за певний крок алгоритму нечіткого висновку. Використання даної моделі дозволяє провести верифікацію СПНВП та отримати похибку поточного положення.

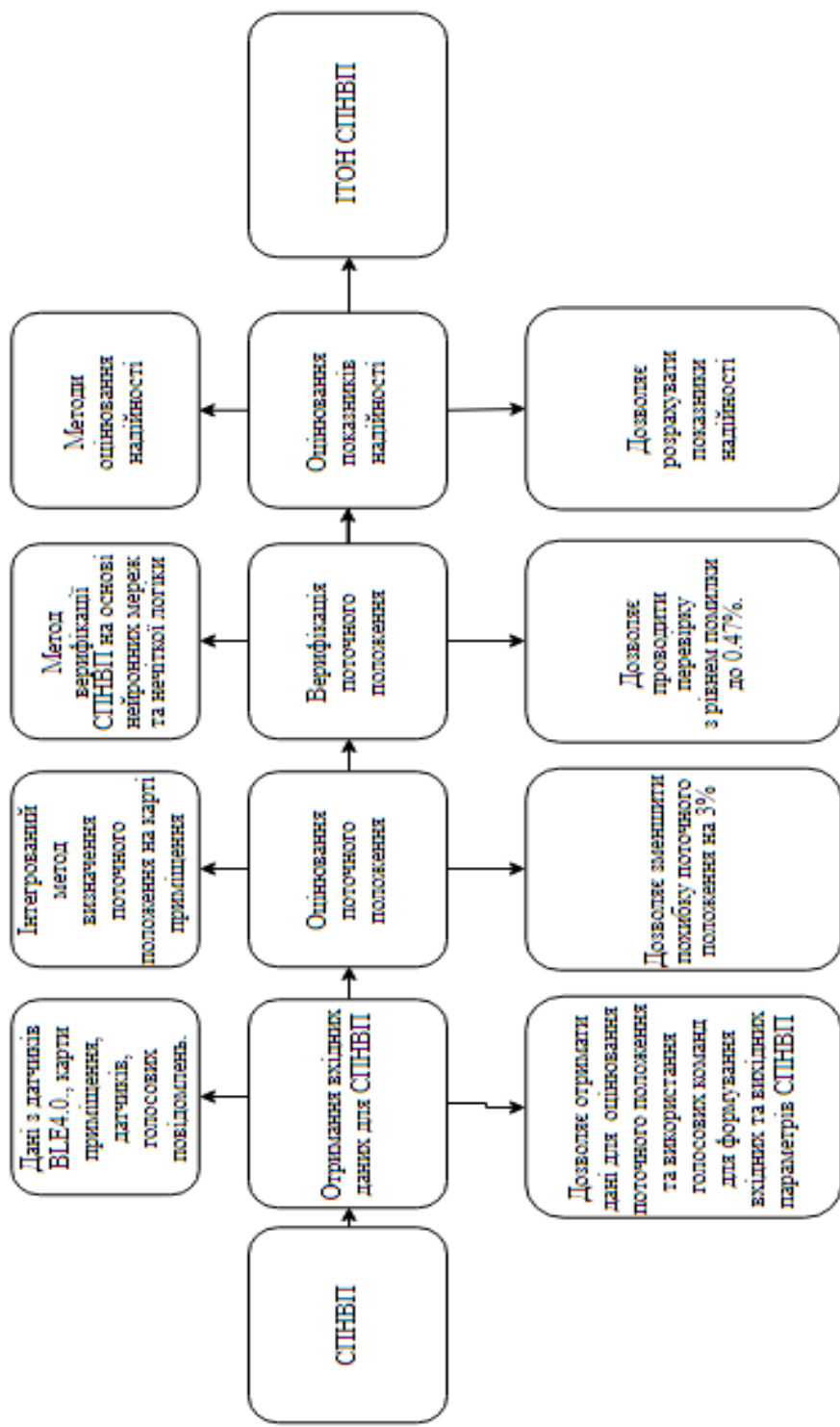


Рис. 4.1 Структура ІТОН СПНВП

На четвертому блоці відбувається оцінювання параметрів надійності СПНВП. На основі отриманих даних відбувається розрахунок показників характерних для систем реального часу таких як: середня кількість помилок при визначенні поточного місця розташування, імовірність безвідмовної роботи СПНВП, середній час відновлення СПНВП, коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного використання СПНВП, коефіцієнт планового використання системи.

Далі, на основі проведеного аналізу, відбувається вивід інформації оцінювання на пристрої виведення.

Так як для роботи інформаційної технології необхідно отримати вхідні дані, але необхідні дані отримуємо з різних джерел: датчиків, голосових повідомлень, картографічного представлення, то необхідно їх привести до одного формату. Для цього використаємо формат XML. Для перетворення буде використана наступна схема:

$$XSD = \langle P, L, A, Q \rangle, \quad (4.1)$$

де P – множина вхідних даних різного формату, L – упорядковані пари з P , A – множина атрибутів, Q – упорядковані пари з P та A .

Таким чином, ІТ формує дані для оцінювання надійності на основі даних, отриманих інтегрованим методом визначення поточного розташування та нейронечітким методом верифікації.

Для прикладу візьмемо приміщення, в якому 10 аудиторій та 20 маяків рис. 4.2. Користувачу необхідно потрапити до аудиторії 57.

Спочатку система перевіряє, чи ввімкнений bluetooth на пристрої. Якщо bluetooth не ввімкнений – на екран виводиться стандартне повідомлення, що пропонує активувати bluetooth. Далі застосунок переходить в режим фонового сканування, яке шукає маячки з інтервалом між скануванням від 2 секунд до 30 секунд. Сканування відбувається до тих пір, поки не буде знайдений маяк. Кожен маяк робить розсилку повідомлення про своє розміщення. Після отримання інформації з маячка застосунок використовує алгоритм JPS та (формули наведені

в табл. 1.3) що дозволяє отримати інформацію про поточне положення, точку призначення та побудувати маршрут.

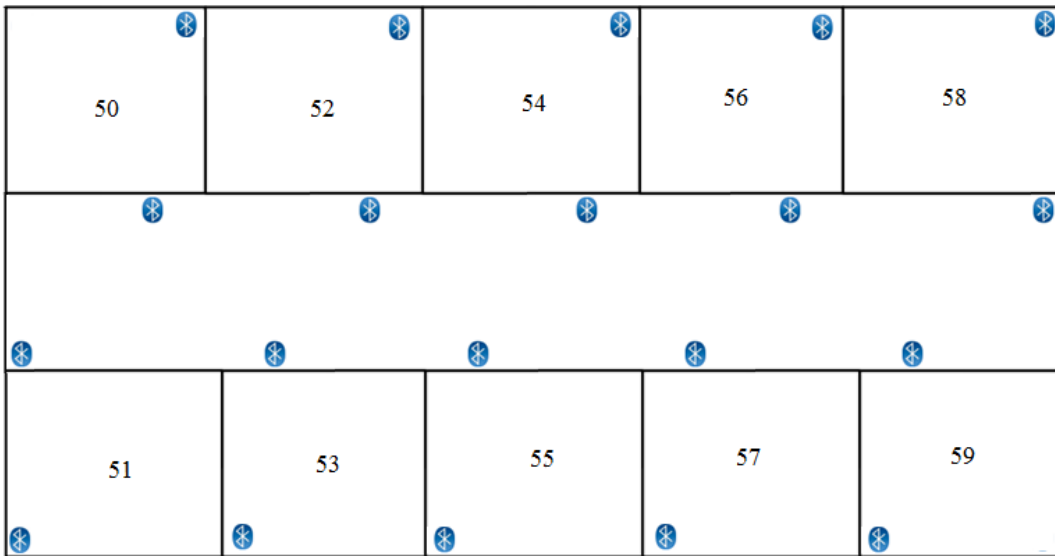


Рис. 4.2. Приклад плану приміщення

Далі потрібно визначити поточне місце розташування. Для цього ІТ використовує інтегрований метод визначення поточного розташування. ІТ спочатку визначає:

1) поточний стан, використовуючи формули 2.1 та 2.2, отримуємо результат на рис. 4.3;

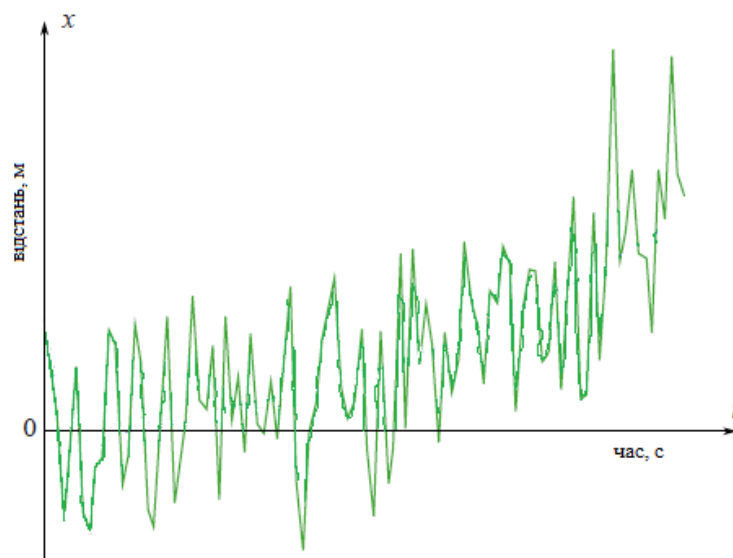


Рис. 4.3. Координати за RSSI

2) теоретичний маршрут представлений на рис. 4.4;

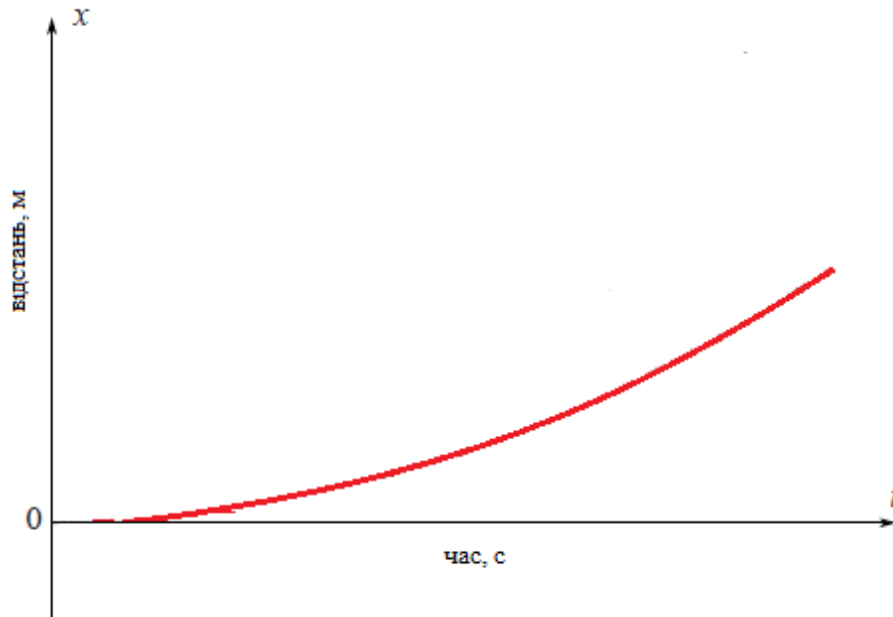


Рис. 4.4. Теоретичний маршрут

3) поточний стан за допомогою ІНС (формули 2.3, 2.13);

4) розраховує похибки (формули 2.14);

5) апроксимує маршрут з використанням фільтра Калмана, використовуючи формули 1.12– 1.16;

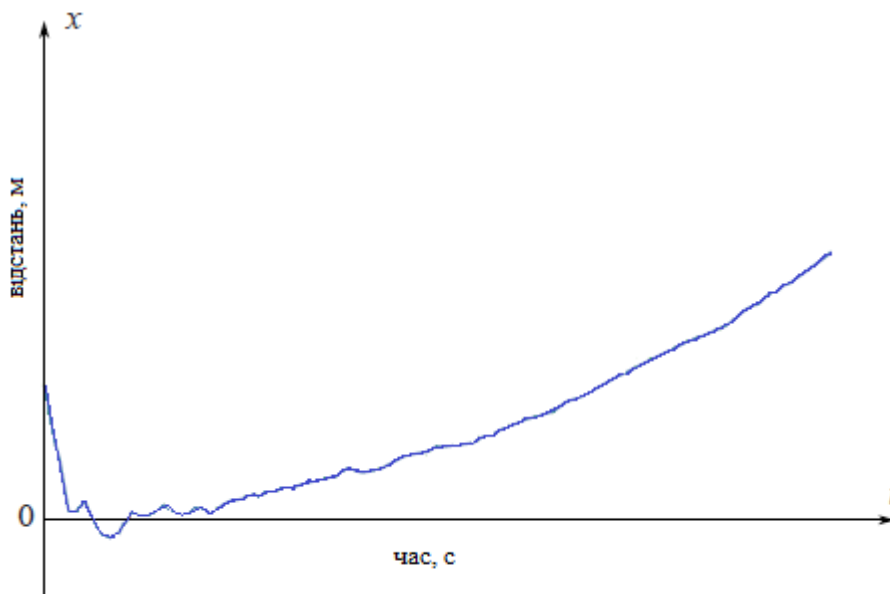


Рис. 4.5. Апроксимований маршрут

- б) порівняння отриманих значень з базовими;
- 7) визначення координат (формули 2.7, 2.8)

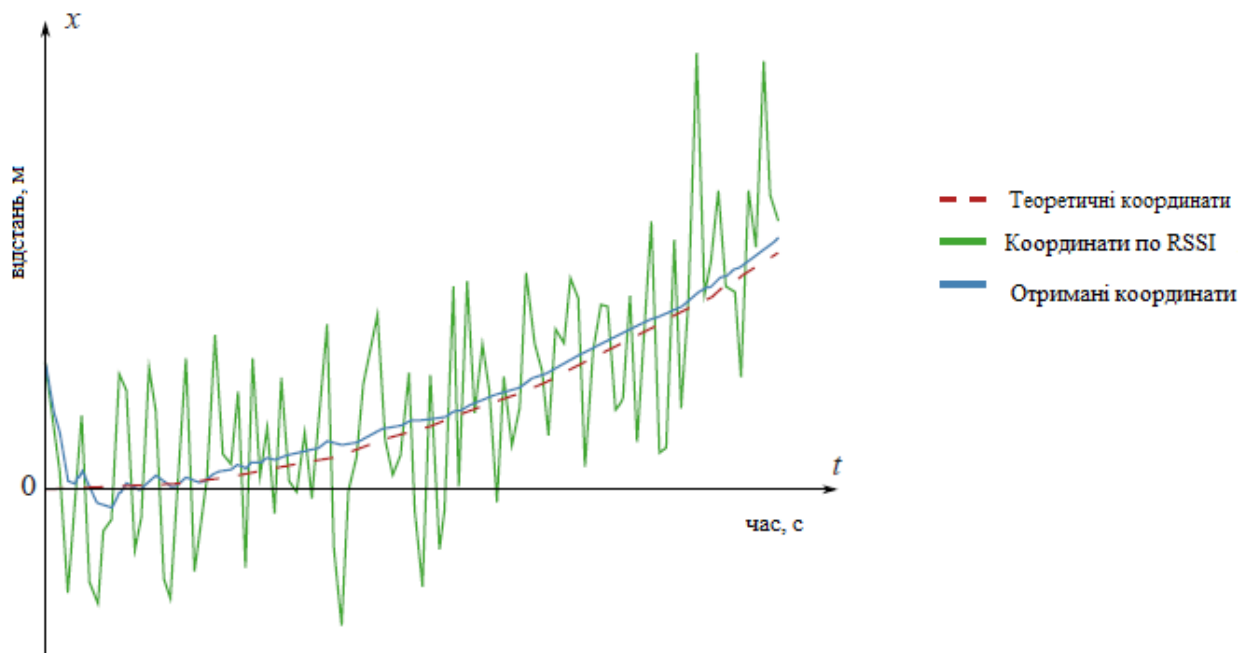


Рис. 4.6. Отримані результати

В результаті виконання першого кроку отримаємо поточне положення користувача та XML файл з поточними координатами.

Голосовий навігатор повинен допомогти людині орієнтуватися в будівлі, використовуючи тільки голос. Для оброблення голосового повідомлення:

- 1) технологія отримує повідомлення (формула 4.1) та обробляє його та приводить до спільного формату.
- 2) для оброблення повідомлення необхідно провести зіставлення набору акустичних ознак мовного сигналу (формули 2.4, 2.5);
- 3) будуємо акустичну модель для розпізнавання мовлення рис.2.3;
- 4) розраховуємо розподіл імовірностей символів (формула 2.6);
- 5) для відновлення найбільш імовірнісної послідовності прихованих станів використовуємо алгоритм Вітербі (формули 2.7– 2.10);
- б) формуємо базу правил та розраховуємо співпадання з розташованими маяками (формули 2.11, 2.12);

7) на основі ключових слів ІТ отримує повідомлення у вигляді XML файлу.

Після визначення координат та обробки голосових повідомлень ІТ буде маршрут. Для визначення маршруту ІТ використовує алгоритм JPS та карту представлену у вигляді матриці $[M_{jp}, N_{jp}]$, де M_{jp} – кількість точок по осі X_{jp} , N_{jp} – кількість точок по осі Y_{jp} . Для картографічного представлення в приміщенні розміщенні маяки з мітками відповідно до свого розташування.

Далі відбувається верифікація даних, які отримані раніше. Для верифікації системи візьмемо модель 1.1.

Спочатку в ІТ вводимо лінгвістичні змінні та терми, потім визначаємо функції належності (формули 3.2– 3.4). Далі розраховуємо відносну ступінь виконання та вклад кожного нечіткого правила (формули 3.6, 3.7). Наступний крок – навчання. Для навчання спочатку вибираємо чергове спостереження та знаходимо значення найближчого вектора ваг в деякій метриці (BMU/Winner) (формула 3.8). Зміна знайденого і сусідніх векторів, з метою наближення до спостереження, розраховується за формулою 3.9. Далі отримаємо початкове наближення бази знань та оптимізуємо число правил (формула 3.10). На завершальному етапі навчання необхідно провести підстроювання всіх параметрів (параметрів функцій належності). Для цього використовуємо алгоритм нормалізованих найменших квадратів (NLMS). Нормування необхідно для збіжності цього методу навчання (формули 3.11– 3.19).

Після побудови і навчання нейро-нечіткої моделі на виході отримуємо помилку, де порівнюються отримане значення і контрольне.

Досягнутий результат підвищує точність від 0.47% до 0.7%, за рахунок використання апарату нейронних мереж та нечіткої логіки, що дозволяє його враховувати при побудові інтегрованої моделі системи.

Отриманий результат заноситься до XML файлу з вже отриманими результатами. Використовуючи модель 1.1 відбувається модифікація (формула 3.20) за рахунок визначення: середньої кількості помилок при визначенні

поточного місця розташування, імовірності безвідмовної роботи СПНВП, середнього часу відновлення СПНВП, коефіцієнту готовності, коефіцієнту технічного використання СПНВП, коефіцієнту планового використання системи, коефіцієнту збереження ефективності СПНВП та, опираючись на розрахунки в роботах Харченка В.С. [7, 90], економічної ефективності.

Для розрахунку середньої кількості помилок при визначенні поточного місця розташування модифікуємо формулу (1.2):

$$err(t) = \frac{\sum_{j=1}^{Nbl} err_j(t)}{Nbl}, \quad (4.2)$$

де $err_j(t)$ – помилка за час t , Nbl – число об'єктів, що перевіряються.

Для розрахунку імовірності безвідмовної роботи СПНВП модифікуємо формулу (1.6):

$$P(t) = 1 - Q(t), \quad (4.3)$$

де $Q(t)$ імовірність відмови за час t .

Середній час відновлення – математичне сподівання часу відновлення працездатного стану системи після помилки. Якщо на відшукування та усунення err помилок було витрачено час $t_1, t_2, \dots, t_j, \dots, t_{err}$, то середній час відновлення може бути знайдено як статистична оцінка за модифікованою формулою (1.7):

$$t_{сеп} = \frac{1}{err} \sum_{j=1}^{err} t_j, \quad (4.4)$$

де err – кількість помилок, t_j час на відновлення.

Для розрахунку коефіцієнту готовності використаємо формулу (1.3).

Коефіцієнт технічного використання – відношення математичного сподівання сумарного часу перебування системи в працездатному стані за деякий період експлуатації до математичного сподівання сумарного часу перебування системи в працездатному стані, простоях, зумовлених технічним обслуговуванням і ремонтами за той же період.

Якщо позначити зазначені в цьому визначенні математичні сподівання відповідних інтервалів часу через $t_{\text{сум}}$, $t_{\text{т.о.}}$ і $t_{\text{рем}}$, то коефіцієнт технічного використання може бути визначений за формулою (1.4).

Коефіцієнт планованого застосування, під яким розуміється частка періоду експлуатації, протягом якої система не повинна перебувати на плановому технічному обслуговуванні та ремонті, може бути знайдений за формулою (1.5).

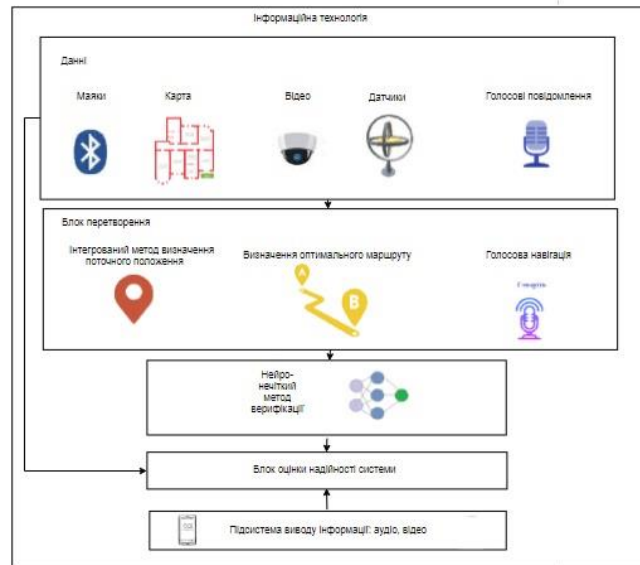


Рис. 4. 7. Інформаційна технологія

Згідно ДСТУ 27.001-2009 [36] коефіцієнт зберігання ефективності системи визначається як відношення показника ефективності використання системи за призначенням за певну тривалість експлуатації до номінального значення цього показника, обчисленого за умови, що помилки системи протягом того ж періоду не виникають. Для застосування даного показника до СПНВП модифікуємо формулу (1.8) та розглянемо як математичне сподівання вимірювання поточного положення:

$$K_{\text{зб}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{н}}}, \quad (4.4)$$

Де $M_{\text{д}}$ – математичне сподівання визначання поточного положення згідно датчиків, $M_{\text{н}}$ – математичне сподівання номінального значення.

Після отримання даних, визначення поточного положення, верифікації системи отримуємо модифіковану модель 4.5, що дозволить провести оцінку надійності системи.

$$S_{sys} = \langle X, B, R, Z, K, \varphi, R_{sys}(t) \rangle, \quad (4.6)$$

де $R_{sys}(t)$ – параметр надійності.

Для даного класу систем функція надійності буде [85] :

$$R_{sys}(t) = \prod_{\forall FailOpp} R_i(t) \quad (4.7)$$

де $R_i(t)$ – імовірність, що не буде відмови для i -ї підсистеми за час t .

Оцінювання представлено на рис. 4.8.

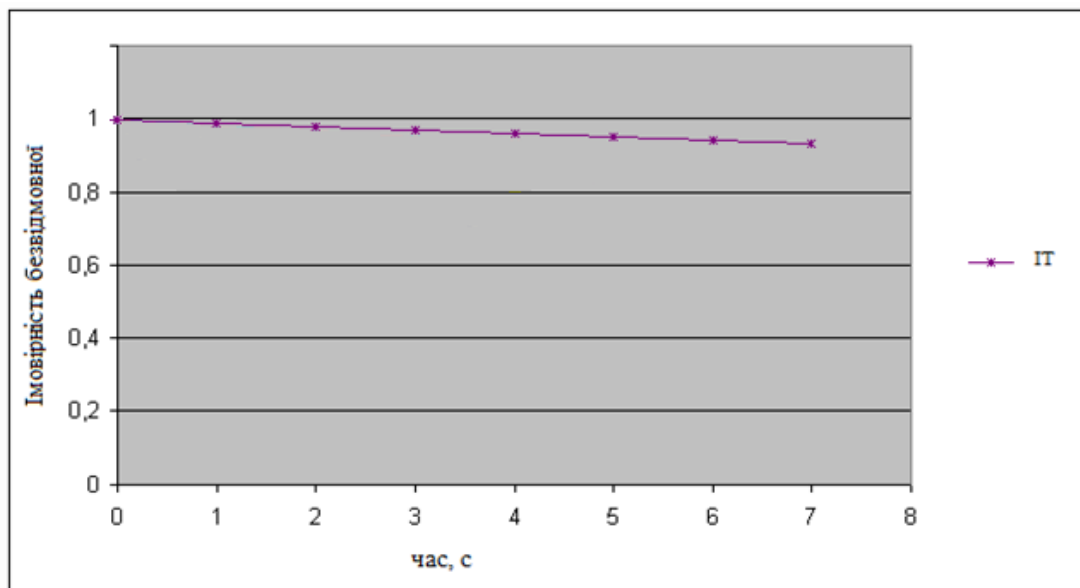


Рис. 4. 8. Оцінювання надійності СПНВП

Таким чином, на основі розроблених методів та моделей, була розроблена інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення. Було проведено порівняння між розробленою технологією та Relex, Risk Spectrum, A.L.D. Group, АСОНІКА-К. Порівняння наведено на рис.4.9

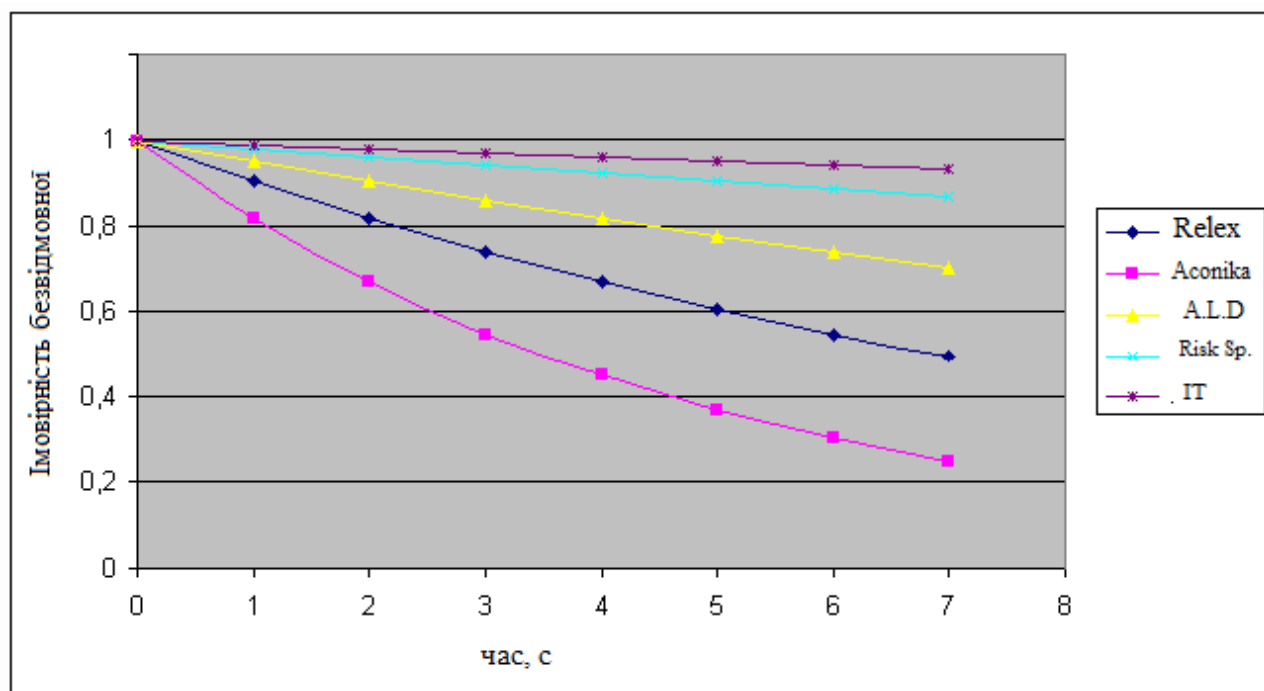


Рис. 4. 9. Імовірність безвідмовної роботи СПНВП

Побудувавши графік імовірності безвідмовної роботи СПНВП, можна зробити висновок, що розроблена інформаційна технологія дозволяє отримати більш точний результат, про що свідчить висока імовірність безвідмовної роботи системи.

4.2 Приклад реалізації інтегрованого методу визначення поточного місця положення для системи SMART-CAMPUS

Smart Campus – це проект, який допомагає об'єднати віртуальний і фізичний університет. Сьогодні освітні установи зосереджуються на використанні цифрових технологій для навчання, роботи та підтримки студентів, персоналу та відвідувачів університетів [79, 81, 91].

В рамках програми Smart Campus була реалізована можливість відображення поточної позиції користувача всередині будівлі і пошук найкоротшого шляху до заданого місцерозташування. Застосунок складається з CMS (Content management system) і мобільного додатку Android. У CMS

реалізована можливість створення схеми приміщення, яка буде використовуватися в подальшому для навігації [81].

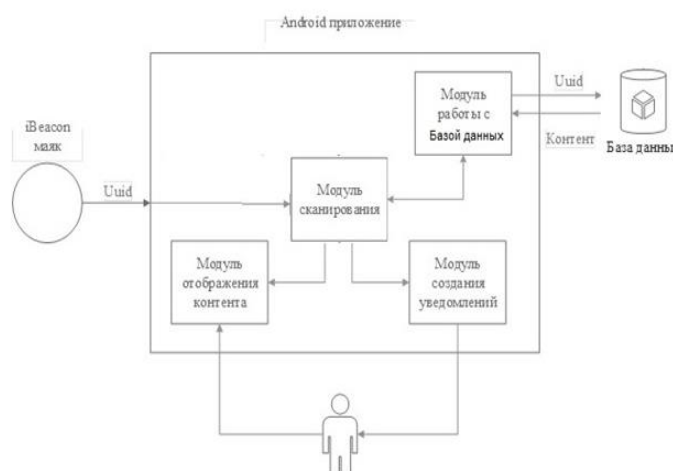


Рис. 4.10. Модулі системи

На рис. 4.10 відображені основні модулі програми:

- модуль сканування;
- модуль роботи з БД;
- модуль створення повідомлень;
- модуль відображення контенту.

Модуль сканування відповідає за пошук маяків, що розташовані радіусі 10 метрів і отримання їх ідентифікаторів.

Модуль роботи з базою даних відповідає за відправку запиту контенту по uuid в базу даних.

Модуль створення повідомлень відповідає за формування і показ рекламного повідомлення користувачеві, що прив'язане до маячка поблизу.

Модуль відображення контенту формує сторінку відображення контенту в разі якщо користувач захоче переглянути повідомлення.

Розроблена CMS містить модуль інтерактивного інтерфейсу, який дозволяє створювати і редагувати карти приміщень і наносити на них маячки.

Для відображення плану приміщення на мобільних платформах план зберігається у вигляді двовимірного масиву значень $[0..1]$, де 0 – означає порожній простір, а 1 – будь-яка перешкода, така як стіна.

Також реалізований механізм надання та маніпулювання об'єктами–маячками, які згодом зберігаються окремо в базі даних в таблиці `beacon_pins`.

Для реалізації протоколу сканування маяків була обрана бібліотека `AltBeacon` [74]. Ця бібліотека є найпоширенішою і розвиненою, яка в свою чергу надає розробникам хороший набір методів для роботи з маячками і має повноцінну документацію [75]. На даний момент це єдина відкрита бібліотека, яка продовжує розвиватися. Бібліотека `AltBeacon` дозволяє працювати з маяками більшості виробників при мінімальних додаткових настройках.

Карти, що належать діапазону маяків, зберігаються і як зображення, і як масив $[100,100]$, який використовується для мобільного застосунку. У застосунку вони використовуються для завдання виявлення шляхів [81]. На рис.4.11. зображений інтерфейс роботи з картою маячків.

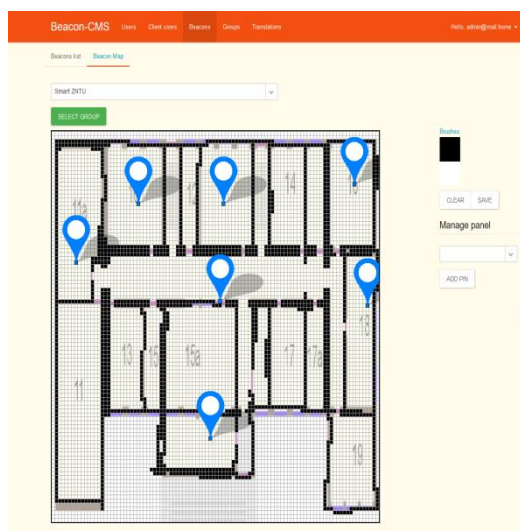


Рис. 4.11. Інтерфейс роботи с картою маячків

У лівій частині розташовано інструмент для створення схем приміщень з можливістю додавання маячків.

У правій частині є панель управління, яка складається з елемента «dropdown» і кнопки.

Користувач вибирає маячок зі списку і натискає кнопку «Add pin». На карті з'являється відмітка яку можна вільно переміщувати мишею, вся інформація зберігається автоматично.

При подвійному натисканні на тег, користувач переходить на сторінку відповідного маячка (рис. 4.12).

CMS надає API (application programming interface) для зовнішнього користувача, який може використовуватися в різних застосунках клієнтів.

Основний сценарій для розробки програмного забезпечення:

1. Розроблення або завантаження карти в CMS. Сканування розміщення маяків.

2. Для клієнтської програми визначається поточне розташування маяків та користувача.

3. Впровадження одного із запропонованих підходів до визначення поточного розташування.

4. Обчислення варіантів руху. Побудова маршруту та розміщення маяків показано на рис.4.12

Цей спосіб був використаний в рамках дисципліни "верифікація цифрових систем" на кафедрі програмних засобів для студентів третього курсу бакалаврату з використанням LEGO Mindstorms EV3 [92], що підтверджено актами впровадження в додатку А. Студенти завантажують створені карти з зазначеним маршрутом, за якими повинен слідувати робот.

Для магістрів в області розробки програмного забезпечення в рамках дисципліни "Якісна інженерія" для мобільного застосунку Android. Застосунок повинен виявляти маяки, розраховувати оптимальний шлях і визначати поточне місце розташування, з зображенням варіації для обраного методу. Корегування проведено з використанням фільтра Калмана.



Рис. 4.12. Положення маяка на карті

Наступним кроком є розробка та інтеграція підсистеми голосової навігації в Smart-Campus. Голосовий навігатор має структуру, показану на рис.4.13.

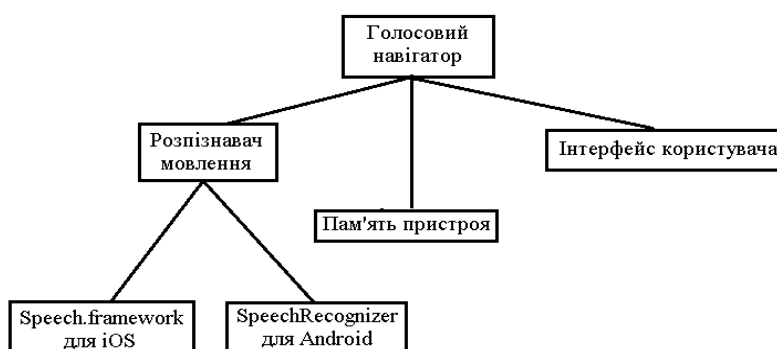


Рис. 4.13. Структура голосового навігатора

Етапи роботи з голосовим навігатором представлені на рис. 4.14.

При використанні голосового навігатора роботу з застосунком можна розділити на кілька етапів [27]:

Крок 1. Користувач повідомляє ключову команду і вказує потрібну аудиторію.

Крок 2. Розпізнавач мови приймає запис голосу і переводить його в текст, за допомогою моделі обробки голосових повідомлень.

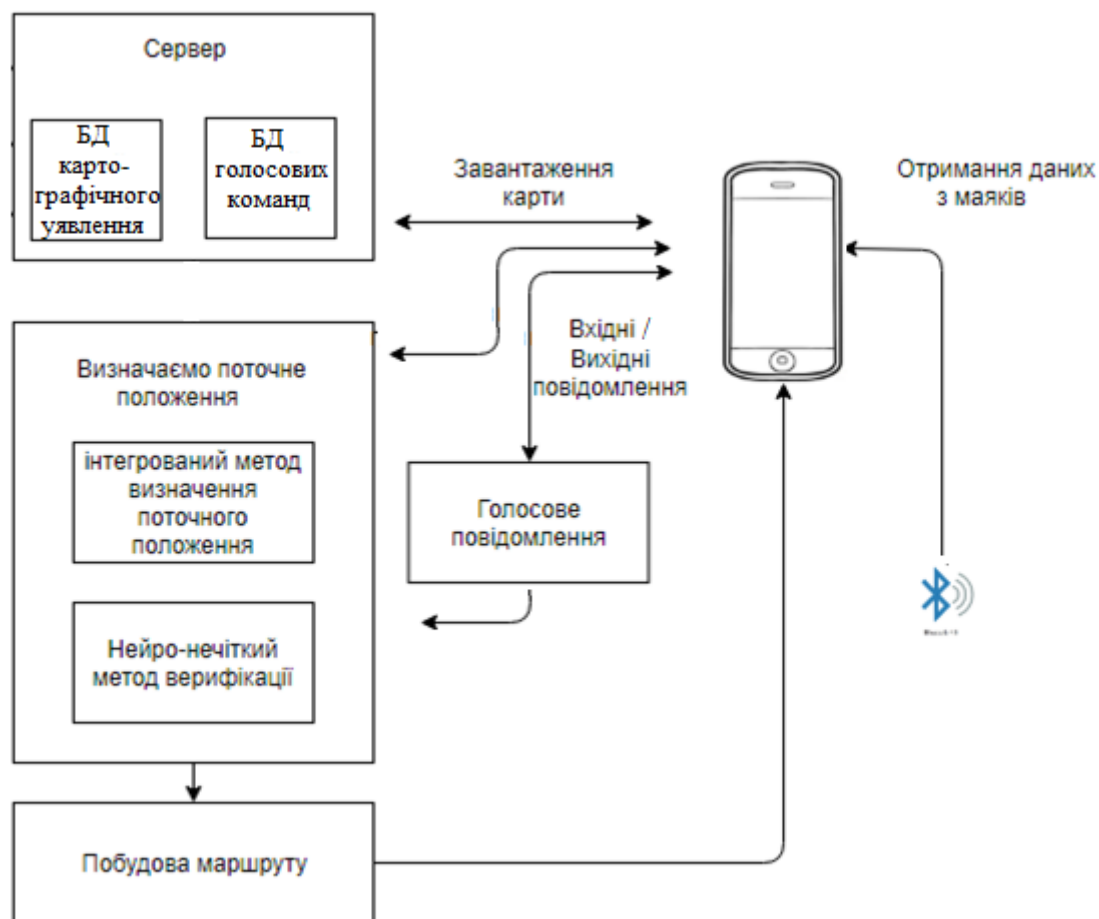


Рис. 4.14. Етапи роботи з голосовим навігатором

Крок 3. Викликаємо модуль визначення поточного положення, якщо потрібна аудиторія не знайдена то повертаємось на крок 1. Якщо аудиторія знайдена, користувач почує голосове повідомлення про місцезнаходження аудиторії.

Крок 4. Необхідно отримати місце розташування користувача і координати точки призначення для побудови маршруту на карті.

Крок 5. Голосовий навігатор повідомить користувачеві, де аудиторія, на якому поверсі.

Крок 6. Побудова маршруту від поточного положення користувача до потрібної точки.

Розроблена програма дозволить користувачеві створювати і керувати своїм розкладом. Розклад показуватиметься за тиждень і поточний день.

Для подальшої роботи з розпізнаванням мови був обраний кадр файлу Speech.framework.

Після запуску і використання програми користувач може бачити свої минулі голосові запити, розклад на поточний день, як показано на рис.4.15.

Розроблений навігатор інтегрований у систему Smart-Campus, що забезпечує підтримку студентів, співробітників та відвідувачів університету. Використання голосу для навігаційних систем дозволить: забезпечити доступ до інформації в навігаційних системах; взаємопов'язувати багато об'єктів і подій, а також підтримувати нові системи взаємодії з користувачами, датчиками, мобільними пристроями, застосунками.

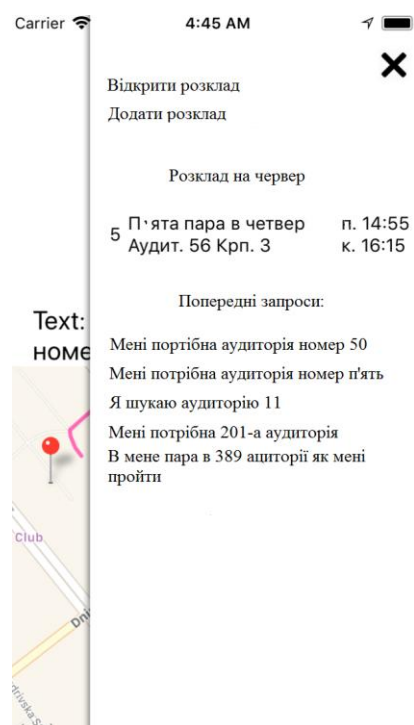


Рис. 4.15. Меню застосунку

Таким чином, для роботи системи навігації всередині приміщення для Smart-Campus було розроблено: для визначення поточного положення та отримання вхідних даних – інтегрований метод визначення поточного положення, для пошуку зданого положення – метод корегування маршруту, для оброблення голосових повідомлень – метод голосової навігації.

4.3 Висновки до розділу 4

Інформаційні технології знаходять застосування у всіх галузях виробництва, забезпечуючи підвищення їх ефективності. Одним із прикладів впровадження цих технологій стали навігаційні системи всередині приміщення. Розроблена інформаційна технологія дозволяє отримувати вхідні дані за допомогою: BLE 4.0, картографічного представлення, відео, інерційної навігації та голосових повідомлень. Також можливо визначити поточне положення та, ґрунтуючись на прогнозне значення функції надійності, виконувати верифікацію поточного стану системи навігації всередині приміщення

Інформаційна технологія формує дані для оцінювання метрик надійності на основі даних отриманих інтегрованим методом визначення поточного розташування та нейро-нечіткого методу верифікації.

Отримав подальший розвиток метод оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення за рахунок використання інтегрованого методу визначення поточного положення та методу нейро-нечіткої верифікації, що дозволяє провести оцінювання імовірності безвідмовної роботи систем позиціонування та навігації всередині приміщення.

На основі отриманих методів розроблена модель, при використанні якої можна визначити: середню кількість помилок при визначенні поточного місця розташування, імовірність безвідмовної роботи СПНВП, середній час відновлення СПНВП, коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного використання СПНВП, коефіцієнт планового використання системи, коефіцієнт

збереження ефективності СПНВП та опираючись на розрахунки в роботах, економічну ефективність.

Основний науковий результат полягає у вирішенні науково практичного завдання підвищення надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення. Впровадження голосового навігатора дозволяє полегшити адаптацію людей з вадами зору до соціальних пільг. Розроблений навігатор інтегрований в мобільний застосунок системи Smart-Campus, що забезпечує підтримку студентів, співробітників і відвідувачів університету. Використання голосу для навігаційних систем дозволяє користувачам з обмеженими можливостями забезпечити доступ до інформації в навігаційних системах; взаємопов'язувати багато об'єктів і подій.

ВИСНОВКИ

Основний науковий результат дисертації полягає у вирішенні науково-практичного завдання підвищення надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення.

Проведені дослідження дозволили зробити наступні висновки.

1. Проведений аналіз методів оцінювання надійності СПНВП, що дозволяє виділити наступні недоліки: в структурно-аналітичному методі виникають проблеми при аналізі складних систем; в логіко-графічному методі виникають складнощі з введенням даних; в логіко-імовірнісному методі – основним засобом аналітичного вираження умов функціонування систем є монотонна логічна функція, наявні методологічні засоби не в повній мірі алгоритмізовані, існуючі методи переходу від логічних до імовірнісних моделей надійності систем дуже громіздкі і трудомісткі; в аналітико-статистичному методі недоліками є можливість аналізувати системи тільки простої структури та неможливість досліджувати залежні процеси, неможливість аналізувати системи зі змінною структурою.

2. Розроблено інтегрований метод визначення поточного розташування на карті приміщення заснований на аналізі сигналу від iBeacon і акселерометра, який використовує фільтр Калмана та дозволяє оперативну корегувати значення поточного розташування, і дозволяє зменшити похибку. Провівши аналіз методів на основі показників RSSI, інерційної системи та запропонованого методу можна зробити висновок, що інтегрований метод визначення поточного розташування поступається швидкістю, але за рахунок інтегрування даних з декількох джерел та корегування результату фільтром Калмана, має досить високу точність.

3. Був розроблений метод голосової навігації, що дозволяє використовувати голосові команди для формування вхідних та вихідних параметрів СПНВП. Була побудована акустична модель, яка може розпізнавати мовні сигнали та модель обробки голосових повідомлень. Впровадження

голосового навігатора дозволяє полегшити адаптацію людей з вадами зору до соціальних пілґ. Розроблений навігатор інтегрований в мобільний застосунок системи Smart-Campus, що забезпечує підтримку студентів, співробітників і відвідувачів університету. Використання голосу для навігаційних систем дозволяє користувачам з обмеженими можливостями забезпечити доступ до інформації в навігаційних системах; взаємопов'язувати багато об'єктів і подій.

4. Розроблений метод верифікації з використанням нейронних мереж та нечіткої логіки. Модель представлена у вигляді багатошарової нейронної мережі, кожен шар якої відповідає за певний крок алгоритму логічного висновку. Дана модель була перевірена за допомогою програмно-апаратного комплексу LabView 2012. Для порівняння було проведено експеримент, який складається з двох верифікаторів. Один заснований на картах Кохонена, а другий – на нейро-нечіткій мережі, за допомогою перемикача можна обирати необхідний. Після побудови і навчання нейро-нечіткої моделі на виході отримуємо помилку поточного розташування, порівнюючи отримане значення і контрольне. У нашому прикладі вона становить від 0.47% до 0.7%.

5. Розроблена інформаційна технологія оцінювання надійності СПНВП, яка формує дані для оцінювання метрик надійності на основі даних отриманих інтегрованим методом визначення поточного розташування та нейро-нечіткого методу верифікації. Також інформаційна технологія дозволяє отримувати вхідні дані за допомогою: BLE 4.0, картографічного представлення, інерційної навігації та голосових повідомлень. Далі можливо визначити поточне положення та ґрунтуючись на прогнозне значення функції надійності виконується верифікація поточного стану системи навігації всередині приміщення.

Наукова новизна визначається наступними положеннями.

1. Вперше розроблено метод верифікації СПНВП на основі нейронних мереж Кохонена та нечіткої логіки, який, на відміну від існуючих, дозволяє

вибирати набір вирішальних правил, перебудувати структуру при донавчанні, використовувати лінгвістичні правила.

2. Вперше розроблено інтегрований метод визначення поточного положення на карті приміщення, заснований на аналізі сигналу від iBeacon і акселерометра, модифікований методом Калмана, що дозволяє оперативно коригувати значення поточного положення і дозволяє зменшити похибку на 3%.

3. Удосконалено модель СПНВП за рахунок методу голосової навігації, який на відміну від існуючих, дозволяє використовувати голосові команди та нечіткі правила для знаходження заданого розташування.

4. Отримав подальшого розвитку метод корегування маршруту, який на відміну від існуючих, використовує фільтр Калмана та метод стрибкових точок, що дозволяє проводити перевірку з рівнем помилки до 4.7%.

5. Отримав подальшого розвитку метод оцінювання надійності СПНВП за рахунок використання інтегрованого методу визначення поточного положення та методу нейро-нечіткої верифікації, що дозволяє провести оцінювання імовірності безвідмовної роботи СПНВП.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що в результаті проведених досліджень була розроблена інформаційна технологія оцінювання надійності СПНВП, яка дозволяє :

1) використовувати розроблений метод верифікації СПНВП на основі нейронних мереж, для підвищення якості систем за рахунок підвищення точності;

2) застосовувати інтегрований метод визначення поточного положення з картографічним поданням приміщення в рамках системи навігації інтерактивного університету для підвищення точності роботи системи;

3) використовувати метод верифікації з використанням нейронних мереж за допомогою програмного пакету LabView для підвищення точності верифікації СПНВП;

4) використовувати метод голосової навігації для адаптації навігаційної системи до потреб людей з обмеженими можливостями;

5) інтегрувати в навігаційну систему Smart-Campus голосовий навігатор та метод визначення поточного положення.

В цілому отримані результати дозволять ефективніше використовувати СПНВП за рахунок використання інформаційної технології оцінювання надійності, визначення поточного положення, побудови оптимального маршруту та верифікації системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Watters R. Teaching Map and Compass: Navigating from the Classroom to the Outdoors [Electronic resource] // Journal of Physical Education, Recreation and Dance, 2016, Volume 67, Number 5, pp. 55-56. – Mode of access:– <http://www2.isu.edu/outdoor/mapshort.htm> – Last access: 2016. – Title from the screen.
2. Andrew G. Dempster Vector Distance Measure Comparison in Indoor Location Fingerprinting [Electronic resource] // Conference: International Global Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium 2015 – Mode of access:– <http://www.ignss.org/LinkClick.aspx?fileticket=yG6nT9XYQPk=&tabid=147&mid=558> – Last access: 2015. – Title from the screen.
3. Гапанюк Ю.Е Методы оценки положения объекта в пространстве [Электронный ресурс] / Ю.Е Гапанюк, Р.В Жуков.// Молодежный научно-технический вестник ФС77-51038 – 2015 – Режим доступа – <http://sntbul.bmstu.ru/doc/636938.htm>
4. Благодатских В.А. Стандартизация разработки программных средств / В.А. Благодатских, В.А.Волонин, К.Ф. // Посакалов: уч. Пособие под ред. О.С. Разумова – Финансы и статистика. – М. – 2013, 284 с.
5. Полонников Р.И. Методы оценки показателей надежности программного обеспечения / Р.И. Полонников, А.В.Никандров // СПб: политехника.– 2012. –99 с.
6. Haag S., Quality Function Deployment. Usage in Software Development/ S. Haag, H.K. Raja, L.L. Sekade // Comm. Of ACM, – 2008,– 39 p.
7. Харченко В. С. Метод оценивания надежности программных средств с учетом вторичных дефектов / В. С. Харченко, О. Н. Одарущенко, А. А. Руденко, // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 7. – С. 294–300.

8. Бінгао Лі Satellite Navigation & Positioning Laboratory [Electronic resource] //– 2017 – Mode of access:– <http://www.snap.unsw.edu.au/staff/binghao-li> – Last access: 2017. – Title from the screen.
9. Gavrilov A. V. A model of spike neuron oriented to hardware implementation / A. V. Gavrilov, V. M. Kangler, M. N. Katomin, K. Panchenko // 11 International forum on strategic technology (IFOST 2016) : proc., Novosibirsk, 1–3 June 2016. – Novosibirsk : NSTU, 2016. – P. 521-525. – ISBN 978-1-5090-0853-7. – DOI: 10.1109/IFOST.2016.7884170.
10. Маевский Д.А. Верификация моделей надежности программного обеспечения / Д. А. Маевский, Е. Ю. Маевская, О. П. Жеков // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2014. – № 5. – С. 55-59.
11. Rizos, C Indoor positioning techniques based on wireless LAN \ C Rizos, AG Dempster, B Li, J Salter – 2007.- 369 p.
12. Mautz, R. Indoor Positioning Technologies, SVH, ISBN 978-3-8381-3537-3, no. 3754.– 2012.– P.136p.
13. Щекотов, М. С. Сравнительный анализ систем позиционирования смартфонов в помещениях / М. С. Щёкотов, А. М. Кашевник // Труды СПИИРАН. – 2012 – №. 4(23).– 460 с.
14. Петрова О.А. Метод определения текущего расположения в системах позиционирования и навигации внутри помещения / Петрова О.А., Табунщик Г.В. Дирк Ван Мероде // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2017. – № 25. – С. 270-278. DOI: <http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.25.101.2017.31>
15. Петрова О.А. Метод визначення заданого розташування всередині приміщення при використанні голосових команд/ Петрова О.А., Табунщик Г.В. // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2019. – № 37(107). – С 87-94.
16. Петрова О. А. Інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик. // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2018. – №6. – С. 125–129.

17. Петрова О.А. Дослідження ефективності пошукових алгоритмів для систем навігації всередині приміщення / Петрова О.А., Табунщик Г.В. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” (ІКОТ-2017). – Покровськ: ДВНЗ “ДонНТУ”. – 2018. . –№1 (24). – С. 80-84.

18. Петрова, О.А. Метод нейро-нечеткой верификации систем позиционирования и навигации внутри помещения / О.А. Петрова, Г.В. Табунщик, Т.И. Каплиенко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” (ІКОТ-2017). – Покровськ: ДВНЗ “ДонНТУ”. – 2017. . –№2 (25). – С. 84-89.

19. Петрова О.А. Информационная система для исследования надежности систем позиционирования и навигации внутри помещения / Петрова О.А., Табунщик Г.В.// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” (ІКОТ-2016). – Покровськ: ДВНЗ “ДонНТУ”.. – 2016. –№2 (23). – С.125-130.

20. Petrova O Modelling of location detection for indoor navigation systems / O. Petrova, G. Tabunshchik, // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: 9th International Conference, Romania, 21-23 September 2017: proceedings. – Bucharest: IEEE, 2017. – P. 961-964. DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095229, INSPEC Accession Number: 17320244

21. Petrova O. Method of Audio Interaction with Indoor Navigation Systems / O. Petrova, G. Tabunshchik. // The 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) 18-21 September,– 2019, – Metz, France. – 2019. – P. 184-188.

22. Petrova O. Fuzzy verification method for indoor-navigation systems / O. Petrova, G. Tabunshchik, Т. Каплиенко, О. Каплиенко // Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET): 14th

International Conference, Ukraine, 20-24 February – 2018, – Lviv-Slavske: IEEE, 2018. – P. 65-68, DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336157

23. Petrova O. Investigation of real-time systems reliability characteristics / Petrova O., Tabunshchuk G. // Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: VIII Міжнародна науково-практична конференція, Запоріжжя, 21–23 вересня 2016 р, тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ, – 2016.– С. 277-278.

24. Петрова О.А. Надежность систем навигации внутри помещения / О.А. Петрова, Г.В. Табунщик // IX Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» Запоріжжя, 2018 р, тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ, 03-05 жовтня 2018. – С. 141-143.

25. Tabunshchuk G. Multipurpose Educational System based on Raspberry Pi / G. Tabunshchuk, D. Van Merode , O.Petrova, V. Okhmak // Proceedings of the International Symposium on Embedded Systems and Trends in Teaching Engineering, Nitra, Slovakia, 12-15 September 2016: proceedings. – Nitra, 2016. – P. 202-206.

26. Петрова О.А. Установка для испытания снаряжения для защиты от падения на базе микропроцессора Arduino / О.А. Петрова, Р.А. Фролов, Г.В. Табунщик, М.В Сидоренко // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: XII Международная научная конференция (ISDMCI'2016). – Железный Порт, 22–26 мая 2017: тезисы доклада. – Железный Порт, 2016. – С. 144-145.

27. Petrova O. Implementation of Audio Navigation for Smart Campus/ O.Petrova, G.Tabunshchuk, P.Arras //Proceedings of the Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019), – Zaporizhzhia, Ukraine, – April 15-19, – 2019. – С. 267-276.

28. Сурков В. О. Системы навигации подвижных наземных объектов и их характеристики / В. О. Сурков // Молодой ученый. — 2013. — №7. — С. 76-79.

29. Комраков Д. В. Навигационные комплексы наземных мобильных средств / Д. В. Комраков // Технические науки: теория и практика: материалы междунар. заоч. науч. конф. — Чита: Издательство Молодой ученый, 2012. — С. 47–49.
30. Поникар А.В. Исследование возможности локального позиционирования в беспроводных сетях IEEE 802.15.4 /А.В. Поникар, О.В. Евсеев, В.Е. Анциперов, Г.К. Мансуров// IV Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь» – ИРЭ РАН, – 2010 – с.914-918.
31. Степаненко А.С. Развитие навигационных систем в гражданской авиации / А.С. Степаненко // Научный Вестник МГТУ ГА.– Том 20, – № 01, – 2017 — С. 123–128.
32. Гмарь Д.В. Навигация в помещениях / Д.В. Гмарь, К.И. Кротенок // Молодежный научно-технический вестник, МГТУ им. Н.Э. Баумана, – 2016, – с.82
33. Hong J. Smartphones, Teddy Bears, and Toys / J. Hong, M. Baker // IEEE Pervasive Computing, – 2014 – 13(3), – pp 5–7.
34. Требования к картографической документации [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.dstu.ru/preview/4456753/>
35. Иванченко И.В. Разновидность программной среды в музыкальной индустрии / И.В. Иванченко, С.Ю. Шершов // Весник музыкальной науки – №2 (16) – 2017 – С. 56-64.
36. ДСТУ 3004-95 Державний стандарт України. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.immsp.kiev.ua/.../Standart>
37. MIL-HDBK-217 Military handbook for the reliability prediction of electronic equipment. Mode of access:– <https://www.itemsoft.com/milhdbk217.html>
38. Telcordia SR-332 – Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment. – 2016 – Mode of access:– <https://telecom-info.telcordia.com/site-cgi/ido/docs>

39. MTBF calculation with Siemens SN 29500 [Electronic resource]. – 2011 – Mode of access: – http://www.applied-statistics.org/Siemens_SN_29500.html
40. IEC-TR-62380 Reliability data handbook – Universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment [Electronic resource]. – 2004 – Mode of access: – <https://ab-div-bdi-bl-blm.web.cern.ch/ab-div-bdi-bl-blm/RAMS/iec-tr-62380.e.pdf>
41. 217Plus™:2015 Calculator 2006. Have the same problems as FIDES. [Electronic resource] – 2006 – Mode of access: – <https://www.quanterion.com/products-services/tools/217plus/>
42. GJB/Z 299B-1998 Reliability prediction handbook for electronic equipment. [Electronic resource] – 1998 – Mode of access: – <https://www.codeofchina.com/standard/GJBZ299B-1998.html>
43. ISO/IEC 25010:2011 Data Processing Vocabulary. Section 14. Reliability, Maintenance and Availability. [Электроний ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200102419>
44. Werner M. Indoor location-based services, prerequisites and foundations / M. Werner // Springer, Ludwig-Maximilians-Universitet Munchen, Munich, Germany, – 2014 – pp. 192-194.
45. Барлоу Р. Э., Прошан Ф. Статистическая теория надёжности и испытания на безотказность / Пер. с англ. Ушакова И. А. М.: Наука, 1984. – 327 с.
46. Щербаков Н. С. Надёжность и достоверность работы цифровых устройств и ЭВМ / Н. С. Щербаков // Учебное пособие. 2004. - 70 с.
47. Kuna P. New Teaching Approaches in Technology / P. Kuna, M. Olvecky, T. Kozik, // Constantine the Philosopher in Nitra, 2017, 265p/
48. Kozik T. Remotely controlled experiments / T. Kozik // PF UKF v Nitre, – 2016, – 178p.
49. Poliakov M., Automated Testing Physical Models in Remote Laboratories by Control Event Streams” [Electronic resource] / M. Poliakov, T. Larionova, H.-D.

Wuttke, K.Henke // Submitted in The International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL 2016). – p. 24-27. – Mode of access:– <https://doi.org/10.1109/IMCTL.2016.7753764>.

50. Poliakov M., The augmented functionality of the physical models of objects of study for remote laboratories / Poliakov, M, Henke, K., Wuttke, H-D., REV2017 – 14th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation. 15-17 March 2017, Columbia University, New York, USA, pp. 148-157.

51. Meedeniya I. Efficient Sensitivity Analysis of Reliability in Embedded Software/ I. Meedeniya, A. Aleti, I. Moser // Springer International Publishing Switzerland – LNAI 8955 – 2015 – pp. 395.

52. Henke K. Remote and virtual tools in engineering: student textbook / K. Henke // Zaporizhzhya: Dike Pole, – 2016. – 250p.

53. Третьяченко Д.А. Картографические представления / Д.А. Третьяченко // ArcReview | № 1 (48) , – 2009. – Mode of access: – https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=1120&SECTION_ID=33&print=Y

54. Ефимов В. В. Статистические методы в управлении качеством / В. В. Ефимов // Учебное пособие.– Ульяновск: УлГТУ. – 2003 – С. 134.

55. Конесев С.Г. Методы оценки показателей надежности сложных компонентов и систем / С.Г. Конесев, Р.Т. Хазиева // Современные проблемы науки и образования. – № 1-1. – 2015. – С. 157.

56. Полина Ю.С. Методы оценки надежности систем и области их применения / Ю.С. Полина, Ж.Е. Копылова, О.Г. Бойко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – №8. – 2012. – С. 213.

57. Руденко А. А. Вероятностные модели и методы оценивания надежности программных средств с учетом вторичных дефектов – Полтава, 2015. – 183 с. – Библиогр.: с. 132-152.

58. Ланецкий Б.Н. Комплексное оценивание показателей безотказности и остаточной долговечности сложных технических систем, эксплуатируемых по

техническому состоянию. // Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, А.А. Артеменко // Системи обробки інформації – вип. 2 (139) – 2016 – С. 40-44.

59. Ложков А. В. Методика оценки надежности вычислительной сети / А. В. Ложков // Научные записки молодых исследователей – №4 – 2014 – С. 28-31.

60. Баранова А.В. Методы оценки надежности информационных систем / А.В. Баранова, Н.П. Ямпурин // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», vol. 1 – 2014 – С. 13-15.

61. Кузьмин Е. В. О дисциплине специализации «Верификация программ» / Е. В.Кузьмин, В. А. Соколов // Доклады II научно-методической конференции «Преподавание математики в компьютерных науках» Ярославль: ЯрГУ. 2007. С. 91-101

62. Symbolic Model Verificator. Carnegie Mellon University.– [Электронный ресурс]. – 2016 – Режим доступа: <http://www.cs.cmu.edu/~modelcheck/smv.html>

63. Модели искусственных нейронных сетей [Электронный ресурс]. – 2016 – Режим доступа: <http://www.stgau.ru/company/personal/user/7684/files/lib202.pdf>

64. Д. Рутковская Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский – М. Горячая линия Телеком– 2006. – 215.

65. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации: пер. с польского И.Д.Рудинского/ С. Осовский // М.: Финансы и статистика. – 2002. – 344 с.

66. Савельева, Е. В. Определение оптимального маршрута прокладки трубопровода [Электронный ресурс] / Савельева Е. В. – 2017 – Режим доступа: http://www.tmnlib.ru/jirbis/files/upload/books/VKR/2016/IMiKN/Sevalneva_VKR.pdf

67. Курносов, М. Г. Амортизационный анализ (amortized analysis) / М.Г. Курносов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mkurnosov.net/teaching/index.php/DSA/Fall2015>.
68. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем: учеб. пособие; [пер. с англ.]. М.: Мир, 1971. 400 с.
69. И.П. Болодурина, А.А. Нугуманова, В.Н. Решетников фильтр калмана как метод вторичной обработки информации с системы глонасс Программные продукты и системы / Software & Systems № 4 (112), 2015
70. Relex и Risk Spectrum [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.riskspectrum.com/en/risk/>
71. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем АРБИТР [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.szma.com/pkasm.shtml>
72. Программный комплекс A.L.D. Group [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.aldservice.com/products/products.html>
73. Программный комплекс АСОНИКА-К [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.asonika-k.ru/>
74. Tabunshchyk, G. Smart-campus infrastructure development based on BLE 4.0 [Text] / G. Tabunshchyk, D. Van Merode, Y. Goncharov, K. Patrakhalko – Published in the Journal Electrotechnic and Computer Systems No. 18 (94), 2015
75. Merode, D. Van Interactive university platform / Merode D. Van, Tabunshchyk G., Goncharov Y., Patrakhalko K., Staroverov V. – Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій : тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції – Запоріжжя : ЗНТУ, 2016. – С. 276 - 277
76. Richard, F J. An In-telligent Traveling Companion for Visually Impaired Pedestrian / Richard F. Joseph, Anand A. Godbole // 2014 International Conference on Cir-cuits, Systems, Communication and Information Technology Applications

(CSCITA), – 2014. – pp.283 – 288.

77. Abbas, Ali M. Indoor navigation to support the blind person Using weighted topological map/ M. Ali Abbas, Md Jan Nordin // 2009 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (IEEE) 5-7 August 2009

78. Parimal, A. Itankar, Hirendra R. Hajare Indoor Environment Navigation for Blind with Voice Feedback / A. Parimal Itankar, R. Hajare Hirendra // International Journal of Computer Engineering In Research Trends Volume 3, Issue 12, December – 2016 – pp. 609– 612

79. Tabunshchyk, G. Flexible Technologies for Smart Campus [Text] / D. Van Merode, G. Tabunshchyk, K. Patrakhalko, Y. Goncharov – Proceedings of XIII International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV2016) (24-26 February, 2016, Madrid, Spain) UNED: pp. 58-62.

80. Hong, J., & Baker, M. Smartphones / Teddy Bears, and Toys. IEEE Pervasive Computing, 13(3), 2014, 5–7.

81. Tabunshchyk, G. Intellectual Flexible Platform for Smart Beacons [Text] / G.Tabunshchyk, D. Van Merode – Conference: REV2017, At New Yourk, 2017

82. Kjaergaard, M. et al. Mobile sensing of pedestrian flocks in indoor environments using WiFi signals. In Pervasive Computing and Communications (PerCom) , 2012 IEEE International Conference on, pp. 95 – 102.

83. Shpakov, D. V. Voice Recognition in the Sphere of Information Technologies / D. V. Shpakov, Young Scientist // 2017, №29., p. 8–11.

84. Grewal, M. Kalman filtering: Theory and practice./ Grewal M. S., Andrews A – Wiley-Interscience, 2001.

85. Харченко В.С. Оперативная верификация и коррекция программного обеспечения ИУС космических систем. Критичность функций и этапы верификации /В.С. Харченко, Н.В. Замирец, С.А. Засуха // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ НіУ», 2011. – С. 124-130.

86. Bender Marc. Positioning Verification in the Contextof Software / System Certification / Marc Bender, Tom Maibaum, Mark Lawford, Alan Wassyng //

Proceedings of the 11th International Workshop on Automated Verification of Critical Systems (AVoCS 2011). – Newcastle-upon-Tyne. – 2011. – 15 p.

87. Гончаровский О.В. Нечеткое управление мобильным роботом / О.В. Гончаровский, Хижняков Ю. Н. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления, no. 22 – 2017 - pp. 150-160.

88. LabVIEW [Electronic resource] – 2020 – Mode of access: – <https://www.ni.com/ru-ru/shop/labview.html>

89. Титаренко Г. А. Информационные технологии управления / Г. А. Титаренко. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008.

90. Харченко В.С. Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы оценки и обеспечения / под ред. В.С. Харченко. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т«ХАИ», 2011. – 603

91. Hassan A. Karimi Universal Navigation on Smartphones Springer New York Dordrecht Heidelberg 2011 – 556

92. LEGO Mindstorms EV3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lego.com/ru-ru/mindstorms/products/mindstorms-ev3-31313>

93. Каперко А. Classification of elements of the software and technical complex of the free formal inertial navigation system / А. Каперко, V. Legostaev Sensors and systems ISSN: 1992-7185, 2010

94. Anikin, A. Overview of modern technologies of wireless data in frequency range ISM (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi) и 434/868 МГц – Besprovodnie tehnologii, №4 2011, – p.6-12.

95. Bender Marc. Positioning Verification in the Context of Software / System Certification / Marc Bender, Tom Maibaum, Mark Lawford, Alan Wassung // Proceedings of the 11th International Workshop on Automated Verification of Critical Systems (AVoCS 2011). – Newcastle-upon-Tyne. – 2011. – 15 p.

96. Abart C. Simulating GNSS constellations – GPS, Galileo and SBAS/ C. Abart // 50th international symposium ELMAR – 2008. – C.569-572.

97. Ndie Th. D. Mobile Application Provision Using Bluetooth Wireless Technology/ Th. D. Ndie, Cl. Tangha, T. Sangbong, A. F Kufor //Journal of Software Engineering and Applications, 2011, 4, pp. 95-105
98. Черепков С.Т. RFID – радиочастотная идентификация. Опыт использования и перспективные направления / С.Т. Черепков // Компоненты и Технологии – 2015 – №53 – С. 154-157.
99. Анисимов А. Основные характеристики LTE [Электронный ресурс] / А. Анисимов // Режим доступа: http://anisimoff.org/lte/lte_performance.html
100. Goswami S. Indoor Location Technologies / S. Goswami // Springer Science+Business Media New York – 2013. – 334
101. Tomek L. Reliability Modeling of Life-Critical, Real-Time Systems[Electronic resource] / L. Tomek, V. Mainkar, R. M. Geist, R. s. Rivedi– 2015 – available at: <http://rmod.ee.duke.edu/PAPERS/IEEEProcLAT.pdf>
102. Zimmermann F. Risk-based Statistical Testing: A Refinement-based Approach to the Reliability Analysis of Safety-Critical Systems / F. Zimmermann, R. Eschbach, J. Kloos, T. Bauer, 12th European Workshop on Dependable Computing, EWDC 2009, Toulouse, France, 2009.
103. Böhr F. Model Based Statistical Testing of Embedded Systems / F. Böhr // 2011 IEEE Fourth Int. Conf. Softw. Testing, Verif. Valid. Work – pp. 18–25,
104. Андронатий Н.Р. Надежность АСУ технологическими процессами. – Кишинев: Картя Молдовэняскэ, 2008.– 176 с.
105. Meedeniya Efficient I. Sensitivity Analysis of Reliability in Embedded Software/ I. Meedeniya, A. Aleti, I. Moser – Springer International Publishing Switzerland, LNAI 8955 – 2015 – P. 395
106. Власов А.И. Пространственная модель оценки эволюции методов визуального проектирования сложных систем // Датчики и системы. – 2013. – № 9. С. 10–28.

107. Werner M. Indoor location– based services, prerequisites and foundations / M. Werner // Springer, Ludwig– Maximilians-Universitet Munchen, Munich, Germany – 2014 – С.257

108. John W. Design and Verification of Real-Time Systems / W. John Jr. Baugh. North Carolina State University, Raleigh - NC 27695-7908 USA – P. 33-38

109. Ивутин А. Н. Основные подходы к верификации программного обеспечения реального времени / А. Н. Ивутин, Е. И. Дараган // Известия ТулГУ. Технические науки – №2.. – 2011.– С. 563-567

110. Волканов Д. Ю. Как разработать простое средство верификации систем реального времени / Д. Ю. Волканов, В. А. Захаров, Д. А. Зорин, И. В. Коннов, В. В. Подымов// Модел. и анализ информ. систем, 19:6 – 2012 – С.45–56

111. Кораблин Ю.П. Верификация моделей систем на базе эквивалентной характеристики формул LTL./ Ю.П. Кораблин, А.А. Шипов, А.С. Кочергин // Программные продукты и системы, 30 (3), – 2017 – С.456– 460.

112. Данилов А.Д. Верификация и тестирование сложных программных продуктов на основе нейросетевых моделей / А.Д. Данилов, В.М. Мугатина // Вестник Воронежского государственного технического университета – 12 (6) – 2016 – С. 62-67.

113. Полевщиков И.С. Автоматизированное управление тестированием программных систем с применением нейронных сетей / И.С. Полевщиков, Р.А. Файзрахманов // Инженерный вестник Дона – 4 (51) – 2018– С. 94.

114. Ганцева Е.А. Программная реализация конструктора нейронных сетей / Е.А. Ганцева, В.Ф. Барабанов, Н.И. Гребенникова, Д.С. Болдырев // Вестник Воронежского государственного технического университета – 13 (6)– 2017– С. 25-31.

115. Советов Б. Я. Информационные технологии: Учеб. для вузов / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский. – М.: Высш. шк., 2013.– 263 с.

116. Некрасов Ю. М. Информационные технологии управления: Уч. пособие.– М.: ИНФРА –М, 2009.

117. Советов Б. Я. Информационная технология. – М.: Высшая школа, 2014.

**ДОДАТОК А – АКТИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ**

Додаток А.1

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Генеральний директор
 ТОВ «ИНФОКОМ ЛТД»
 посада керівника, назва організації (підприємства)
 Е. А. Троценко
 ПІБ

«ИНФОКОМ ЛТД»
 підпис
 20501767

АКТ _____ р.

впровадження результатів НДР

« 5 » травня 2017 р.

м. Запоріжжя

Комісія у складі:

Голова: Генеральний директор Троценко Едуард Анатолійович

посада, ПІБ

члени комісії: Технічний директор Горбик В.В.

посада, ПІБ

Начальник проектно-конструкторського відділу Іванов О.В.

посада, ПІБ

Комісія провела роботу по визначенню фактичного впровадження науково-дослідної роботи науково-дослідної роботи «Інформаційна система діагностування розподілених мінікомп'ютерних систем в багатокомпонентному середовищі», ДБ04917, № 0117U000615

назва та № роботи

виконаної у ЗНТУ згідно тематичного плану наукових досліджень та розробок які виконує Запорізький національний технічний університет за рахунок коштів державного бюджету 2017р. Підстава: наказ МОН України від 10.102017р № 1366. та установила, що результати вказаної роботи пройшли дослідне впровадження на ТОВ «ИНФОКОМ ЛТД»

Назва організації (підприємства), структурного підрозділу

Вид та об'єм впровадження метод інтегрований метод визначення поточного розташування на карті, заснований на аналізі сигналу від iBeacon і акселерометра, модифікований методом Калмана, дозволяє визначити поточне положення та покращити точність в системах геолокації, розроблений в межах виконання дисертаційної роботи аспіранта кафедри ПЗ, Петрової Ольги Анатоліївни.

Досягнені технічні результати, їх рівень:

Запропоновані технічні рішення дозволили підвищити надійність системи та оперативно коригувати значення поточного положення і дозволяє зменшити похибку на 3%.

Складено в 2 прим.: 1-й прим. В НДЧ ЗНТУ,
 2-й прим. Виконавцю

Голова комісії
 Члени комісії



Е.А. Троценко
 В.В. Горбик
 О.В. Іванов

Додаток А.2

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

ТОВ «ІНФОКОМ ЛТД»

посада керівника, назва організації (підприємства)

Е. А. Троценко

ПІБ

р.

АКТ

впровадження результатів НДР

« 5 » травня 2017 р.

м. Запоріжжя

Комісія у складі:

Голова: Генеральний директор Троценко Едуард Анатолійович

посада, ПІБ

члени комісії: Технічний директор Горбик В.В.

посада, ПІБ

Начальник проектно-конструкторського відділу Іванов О.В.

посада, ПІБ

Комісія провела роботу по визначенню фактичного впровадження науково-дослідної роботи науково-дослідної роботи «Інформаційна система діагностування розподілених мінікомп'ютерних систем в багатокомпонентному середовищі», ДБ04917, № 0117U000615

назва та № роботи

виконаної у ЗНТУ згідно тематичного плану наукових досліджень та розробок які виконує Запорізький національний технічний університет за рахунок коштів державного бюджету 2017р. Підстава: наказ МОН України від 10.102017р № 1366. та установила, що результати вказаної роботи пройшли дослідне впровадження на ТОВ «ІНФОКОМ ЛТД»

Назва організації (підприємства), структурного підрозділу

Вид та об'єм впровадження метод нейро-нечіткої верифікації систем позиціонування і навігації всередині приміщення, заснований на основі нейронних мереж та нечіткої логіки, дозволяє вибирати набір вирішальних правил, перебудовувати структуру при донавчання, використовувати лінгвістичні правила, розроблений в межах виконання дисертаційної роботи аспіранта кафедри ПЗ, Петрової Ольги Анатоліївни.

Досягнені технічні результати, їх рівень: _____

Запропоновані технічні рішення дозволили підвищити надійність системи та дозволяє проводити перевірку з рівнем помилки від 0.007% до 0.047%.

Складено в 2 прим. 1-й прим. В НДЧ ЗНТУ,

2-й прим. Виконавцю

Голова комісії

Члени комісії

Е.А. Троценко

В.В. Горбик

О.В. Іванов



Додаток А.3

ЗАТВЕРДЖУЮ
проректор з НР та МД



В.В. Наумик
ПІБ _____ р.

АКТ
впровадження результатів НДР

« 10 » січня 2017 р.

м. Запоріжжя

Складено комісією у складі:

Голови професора кафедри програмних засобів Дубровіна В.І.

посада, ПІБ

члени комісії доцента кафедри програмних засобів Сердюк С.М.

посада, ПІБ

доцента кафедри програмних засобів Олійник А.О.

посада, ПІБ

доцента кафедри програмних засобів Миронова Н.О.

посада, ПІБ

Комісія провела роботу по визначенню фактичного впровадження науково-дослідної роботи «Інформаційна система діагностування розподілених мінікомп'ютерних систем в багатокомпонентному зовнішньому середовищі». ДБ 04917, № 0117U000615

виконаної ЗНТУ згідно уточненого тематичного плану НДР, які виконує ЗНТУ за рахунок коштів державного бюджету у 2017 році (підстава: Наказ МОН України від 10 жовтня 2017 року № 1366)

та установила, що результати вказаної роботи впроваджені в навчальний процес кафедри Програмних засобів

Строк освоєння результатів НДР/початок-кінець/ плановий 01.11.17 – 30.11.17
фактичний 01.11.17 – 30.11.17

Вид та об'єм впровадження метод нейро-нечіткої верифікації систем позиціонування і навігації всередині приміщення впроваджені у лабораторній роботі для дисципліни «Проектування інформаційних систем» студентів напрямку 6.050101 Комп'ютерні науки

Досягненні технічні результати, їх рівень покращення якості підготовки фахівців напрямку 6.050101 Комп'ютерні науки

Річний економічний ефект від впровадження складає (тис. грн.) _____

Складено в 2 прим.: 1-й прим. в НДЧ ЗНТУ
2- прим. на виконавцю

Голова комісії
Члени комісії

Дубровін В.І.
Сердюк С.М.
Олійник А.О.
Миронова Н.О.

Додаток А.4

ЗАТВЕРДЖУЮ
проректор з НР та МД

В.В. Наумик
ПІБ _____ р.



АКТ
впровадження результатів НДР

« 10 » січня 2018 р.

м. Запоріжжя

Складено комісією у складі:

Голови професора кафедри програмних засобів Дубровіна В.І.
_____ посада, ПІБ
члени комісії доцента кафедри програмних засобів Сердюк С.М.
_____ посада, ПІБ
доцента кафедри програмних засобів Олійник А.О.
_____ посада, ПІБ
доцента кафедри програмних засобів Миронова Н.О.
_____ посада, ПІБ

Комісія провела роботу по визначенню фактичного впровадження науково-дослідної роботи «Інформаційна система діагностування розподілених мінікомп'ютерних систем в багатокомпонентному зовнішньому середовищі», ДБ 04917, № 0117U000615

виконаної ЗНТУ згідно уточненого тематичного плану НДР, які виконує ЗНТУ за рахунок коштів державного бюджету у 2017 році (підстава: Наказ МОН України від 10 жовтня 2017 року № 1366)

та установила, що результати вказаної роботи впроваджені в навчальний процес кафедри Програмних засобів

Строк освоєння результатів НДР/початок-кінець/ плановий 01.09.17 – 30.09.17
фактичний 01.09.17 – 30.09.17


Вид та об'єм впровадження метод розрахунку поточного розміщення об'єкту в системі навігації всередині приміщення впроваджено у лабораторні роботи дисципліни «Фізичні основи сучасних інформаційних технологій» студентів спеціальності 122 Комп'ютерні науки

Досягненні технічні результати, їх рівень покращення якості підготовки фахівців спеціальності 122 Комп'ютерні науки

Річний економічний ефект від впровадження складає (тис. грн.) _____

Складено в 2 прим.: 1-й прим. в НДЧ ЗНТУ
2- прим. на виконавцю

Голова комісії
Члени комісії

 Дубровін В.І.
Сердюк С.М.
Олійник А.О.
Миронова Н.О.

Додаток А.5

ЗАТВЕРДЖУЮ
Ректор Національного університету
"Запорізька політехніка"



С.Б. Беліков
ПІБ

р.

АКТ
впровадження

« 1 » серпня 2019 р.

м. Запоріжжя

Комісія у складі:

Голова: д.т.н., професор, проректор з НР та МД Наумик В.В.

посада, ПІБ

члени комісії: д.т.н., професор, завідуючий кафедри програмних засобів
Субботін С.О.

посада, ПІБ

к.т.н., доцент кафедри програмних засобів Каплієнко Т.І

посада, ПІБ

Комісія провела роботу по визначенню фактичного впровадження в інфраструктуру університету, зокрема в проект Smart Campus Національного університету "Запорізька політехніка" інформацію технологію оцінювання надійності систем навігації всередині приміщення розроблену в межах виконання дисертаційної роботи аспірантки кафедри програмних засобів, Петрової Ольги Анатоліївни.

Запропоновані технічні рішення дозволили підвищити надійність та зручність використання системою Smart Campus.

Складено в 2 прим.: 1-й прим. в НУ "Запорізька політехніка"

2-й прим. Виконавцю

Голова комісії

Члени комісії

В.В. Наумик

С.О. Субботін

Т.І. Каплієнко

ДОДАТОК Б – ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Технології для передачі даних

Для передачі системи управління введенням використовують рішення:

1. Навігація по Wi-Fi – використовується вже існуюча інфраструктура мереж зв'язку. Для визначення координат пристрій користувача сканує доступні Wi-Fi– точки доступу, потім інформацію про них відправляє на сервер, де ці дані по базі даних зіставляються з координатами цих точок доступу, за якими і обчислюються координати користувача. На жаль, координати Wi-Fi точок точно не відомі, і можуть змінюватися (переміщення Wi-Fi точки в інше місце або її заміна) [93].

Похибка при такому підході може становити до 25 метрів, а при використанні спеціально створеної інфраструктури – точність збільшується до 3-5 метрів. Даний підхід при досягненні високої точності вимагає значних витрат. Також недоліком є складність ідентифікації клієнтів, прив'язуючи їх розташування до карти приміщень, це пов'язано з тим, що починаючи з iOS 8, mac-адреси Apple-пристроїв (iPhone, iPad) постійно змінюються.

2. Геомагнітне позиціонування – засновано на орієнтуванні по магнітному полю Землі і базується на геомагнітних аномаліях як критеріях для геомагнітного позиціонування. Підхід полягає у фіксації геомагнітних аномалій і нанесенні їх на карту території, на якій передбачається орієнтуватися. Навігація здійснюється за складеною картою пристроєм, в який вбудований магнітометр [94]. Недолік – висока складність реалізації, невисока точність. У приміщеннях дуже багато динамічно мінливих магнітних аномалій, які сильно ускладнюють навігацію, засновану на зазначеному способі орієнтуванні в просторі.

3. Орієнтування по базових станціях операторів мобільного зв'язку (GSM).

У зоні видимості мобільного телефону / GSM-модему постійно знаходяться як мінімум одна базова станція GSM. Координати розташування цих базових станцій (БС) – відомі [95, 96]. Таким чином, через бази даних з

координатами БС можна отримати їх координати і методом триангуляції визначити своє приблизне місце розташування.

Недоліком є невисока точність, тому що БС може бути видалена на відстані в 35 км від користувача або БС може бути мобільною і постійно змінювати свою дислокацію.

4. Використання Bluetooth-маячків Beacon – дає достатньо високу точність при прийнятному рівні фінансових витрат. Маячки Beacon можуть використовуватися, завдяки своїй мініатюрності і великому терміну роботи на одному заряді батареї, на підприємствах і в будівництві, для орієнтування вантажів, персоналу, техніки [97]. Також, можливе використання подібних маячків і в автомобілях.

5. RFID – радіозв'язок, який використовується для контролю доступу, відстеження вантажів, безконтактних платежів. Технологія представляє собою один із способів бездротового зв'язку між RFID чіпом і активним зчитувачем. RFID-мітки можуть бути відскановані на відстанях до 100 метрів без прямої видимості пристрою [98]. Головним недоліком є обмеженість на дальність зчитування і доступність на спеціалізованих пристроях.

6. LTE (Long-Term Evolution, 4G) – мобільна технологія зв'язку четвертого покоління. Була розроблена для того, щоб надати користувачам доступ до різних сервісів, а також до мережі інтернет за допомогою протоколу IP. Мережа LTE складається з безлічі вузлів. Всі вузли мережі прийнято ділити на дві категорії. Вузли, що відносяться до мережі радіодоступу (radio access), і вузли – опорної мережі (core network) [99].

Для порівняння технологій розглянемо будівлю, в якій необхідно розташувати технології для отримання точності 1 метр, рис. Б.1, Б.2

Мобільний пристрій може визначати рівень сигналу кожної Wi-Fi точки, навігація можливо за допомогою триангуляції.

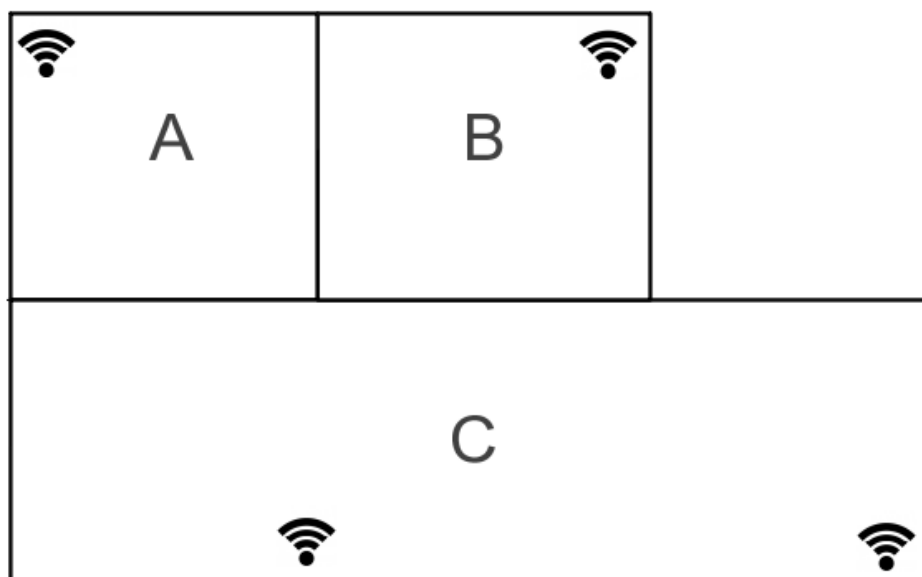


Рис. Б.1 Розміщення Wi-Fi точок

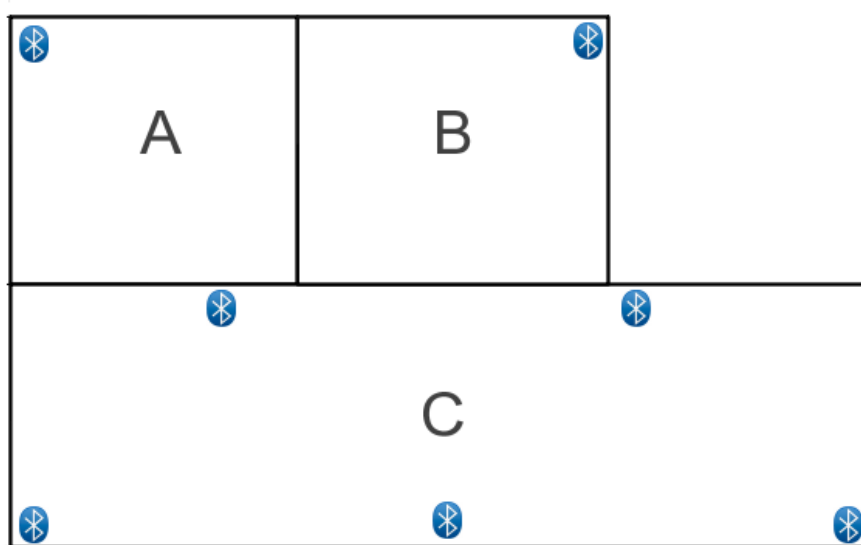


Рис. Б.2 Розміщення Bluetooth маячків

Bluetooth маячки, на відміну від Wi-Fi точок, володіють автономністю, тобто не вимагають підключення до мережі. Bluetooth маячок може без підзарядки працювати до трьох років [100].

Для досягнення високої точності при використанні точок необхідна велика кількість датчиків рис Б.3.

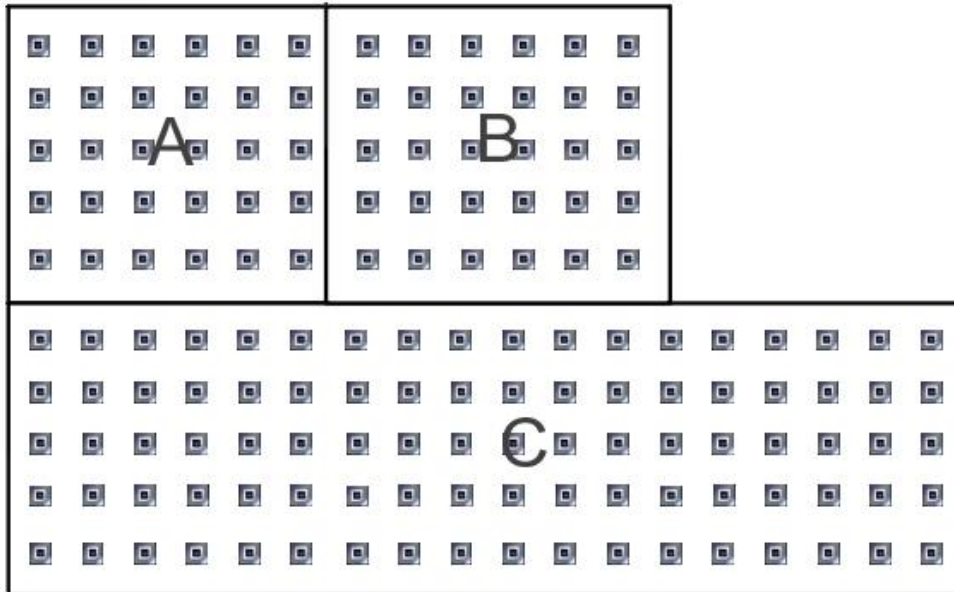


Рис. Б.3 Розміщення RFID точок

ДОДАТОК В – МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ТА НАВІГАЦІЇ ВСЕРЕДИНІ ПРИМІЩЕННЯ

Методи оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення

Для оцінювання надійності систем геолокації використовують методи:

1. Структурно-аналітичний – метод заснований на побудові структурної схеми надійності керуючої системи [56, 57, 101]. Структурна схема надійності являє собою логічну схему взаємодії елементів, що визначає працездатність системи. За допомогою цієї схеми вдається однозначно визначити стан (працездатний або непрацездатний) системи станом (працездатний або непрацездатний) вхідних до неї елементів. Вид структурної схеми визначається наслідками відмов елементів. Зокрема, якщо відмова будь-якого елемента призводить до відмови системи, то елементи в структурній схемі з'єднані послідовно. Паралельне з'єднання характеризується ситуацією, при якій відмова інформаційно-керуючої системи відбувається тільки в разі відмови всіх вхідних в неї елементів.

На рис. В.1 представлено послідовно-паралельне з'єднання елементів 1, 2, 3, 4, 5. Це означає, що пристрій, який складається з цих елементів, переходить в стан відмови після відмови всіх елементів за умови, що всі елементи системи знаходяться під навантаженням, а відмови елементів статистично незалежні.

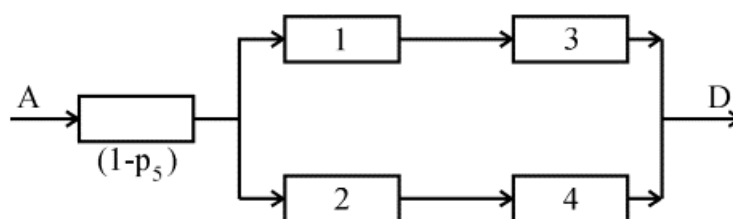


Рис. В.1. Блок-схема системи с послідовно-паралельним з'єднанням елементів

Імовірність безвідмовного стану пристрою, що складається з n паралельно з'єднаних елементів визначається по теоремі додавання імовірностей сумісних випадкових подій як:

$$P=(p_1+p_2+\dots+p_n)-(p_1p_2+p_1p_3+\dots)-(p_1p_2p_3+p_1p_2p_n+\dots)-\dots \pm (p_1p_2p_3\dots p_n) \quad (B.1)$$

де P – надійність системи, p_1, p_2, p_3 – надійність окремих елементів.

Шукана імовірність дорівнює сумі імовірностей структур, кожна з яких паралельно-послідовна. Тому:

$$P=p_5[(p_1+p_2-p_1p_2)(p_3+p_4-p_3p_4)]+(1-p_5)[p_1p_3+p_2p_4-p_1p_3p_2p_4] \quad (B.2)$$

Стосовно до проблем надійності, за правилом множення імовірностей незалежних (в сукупності) подій, надійність пристрою з n елементів обчислюється за формулою:

$$P = \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \quad (B.3)$$

де n – кількість елементів, i – номер елемента, p – надійність окремих елементів.

Для складних систем, з великим числом елементів, які пов'язані між собою за допомогою інформаційних шин і шин живлення, складання структурної схеми є досить складним завданням. При цьому неминучі методичні помилки, обумовлені тим, що практично неможливо в умовах обмежених ресурсів часу перебрати всі можливі комбінації відмови елементів, що призводять до відмови системи.

2. Основою логіко-графічних методів є графічне представлення причинно-наслідкових зв'язків логічної послідовності подій, які описують розвиток процесу, що призводить систему до непрацездатного або небезпечного стану. До групи цих методів належать методи дерев відмов і дерев подій [57, 101]. Найбільшого поширення така група методів отримала при оцінюванні показників безвідмовності. Метод дерев відмов є дедуктивним методом, оскільки починається з встановлення небезпечного події з подальшим пошуком можливих причин його появи, тобто побудова дерева здійснюється зверху вниз на підставі, так званого, «зворотного підходу». При побудові дерев відмов складних систем не завжди вдається забезпечити незалежність вихідних подій. Оцінювання показників безпеки в цьому випадку проводиться методами,



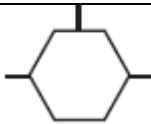


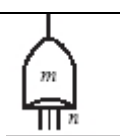
заснованими на побудові марковської діаграми переходів станів з подальшим складанням і рішенням диференціальних рівнянь, які описують імовірності відповідних станів системи.

Щоб відшукати і наочно уявити причинний взаємозв'язок за допомогою дерева відмов, необхідні елементарні блоки, які підрозділяються і зв'язують велике число подій. Є два типи блоків: логічні символи (знаки) і символи подій.

Позначення логічних знаків наведено в табл. В.1. Логічний символ (знак) може мати один або кілька входів, але тільки один вихід, або вихідна подія.

Таблиця В.1

Логічні символи

№	Символ	Назва	Причинний зв'язок
1.		І	Вихідна подія відбувається, якщо вхідні події відбуваються одночасно
2.		АБО	Вихідна подія відбувається, якщо відбувається хоч одна вхідна подія
3.		Заборона	Наявність входу викликає наявність виходу, коли відбувається умовна подія
4.		Пріоритетне І	Вихідна подія відбувається, якщо вхідні події відбуваються послідовно
5.		Виключне АБО	Вихідна подія відбувається, якщо вхідні події відбувається одна вхідна подія
6.		m з n	Вихідна подія відбувається, якщо відбувається m з n вхідних подій

Правило формулювання подій. Події, вхідні по відношенню до операції АБО, повинні формуватися так, щоб вони разом вичерпували всі можливі шляхи

появи вихідного події. Крім того, будь-яка з вхідних подій повинно призводити до появи вихідної події.

Порядок застосування логічних знаків І і АБО. Для будь-якої події, що підлягає подальшому аналізу, спочатку розглядаються всі можливі події, які є входами операцій АБО, потім входи операцій І. Це справедливо як для головної події, так і для будь-якої події, аналіз якої доцільно продовжити.

У методі дерева подій, на відміну від методу дерева відмов, використовується пряма логіка аналізу послідовності подій, так званий, «прямий підхід». Тому цей метод відноситься до групи індуктивних методів. До недоліків цього методу слід віднести великі витрати часу на складання діаграми дерева відмов складних систем.

Недоліком опису системи графом станів є складність введення даних і методів визначення характеристик надійності для систем з великою кількістю станів.

3. Логіко-імовірнісні методи [58. 102] – полягають у використанні функцій алгебри логіки для аналітичної записи умов працездатності та безпеки системи, а також в розробці суворих способів переходу від функцій алгебри логіки до імовірнісних функцій, об'єктивно виражає властивості безвідмовності і безпеки досліджуваної системи.

За допомогою рівнянь алгебри логіки можна описати умови працездатності або небезпечного стану системи. Рівняння показують, з яких елементів і якими сполуками можна забезпечити виконання заданого системі призначення (або попадання її в небезпечний стан).

Імовірність відмови системи приймають мінімальну апроксимацію верхньої межі мінімальних перетинів. Мінімальну апроксимацію верхньої межі мінімальних перетинів описує рівняння:

$$Sim = \prod_{i=1}^m (1 - c_i) \quad (1.5)$$

де Sim – мінімальна верхня границя мінімальних перетинів для неготовності системи; c_i – імовірність I -го мінімального перетину; m – число мінімальних m .

Оскільки c_i імовірності мінімальних перетинів, є малими величинами, то з точністю до другого порядку малості можна обчислювати імовірність відмови системи як суму мінімальних перетинів. Мінімальні перерізи – це ключові інструменти для кількісного аналізу моделей імовірнісного аналізу безпеки.

Обчислення за допомогою логіко-імовірнісних методів значень показників надійності і безпеки складних систем, що містять мікропроцесорні елементи, зазвичай, являє собою досить громіздку задачу. Тому для оцінювання цих показників застосовуються наближені методи, які засновані на пошуку верхньої і нижньої меж відповідних імовірностей.

Недоліки:

- застосовувані зв'язності представляють тільки дві логічні операції "І" і "АБО", що не відповідає всім 5 можливостям основного аналітичного апарату моделювання – алгебри логіки [58, 102]. За допомогою графів зв'язності вдається строго формалізувати умови роботи тільки вузького підкласу;

- основним засобом аналітичного вираження умов функціонування систем є монотонна логічна функція, яка надається або за допомогою найкоротших шляхів успішного функціонування, або за допомогою мінімальних перетинів відмов [59, 102]. Це не дозволяє будувати немонотонні моделі надійності систем, що враховують, наприклад, вплив окремих елементів на надійність багатofункціональних систем в цілому і якісну складність, тобто здатність функціонувати в різних станах з різною ефективністю [103];

- існуючі методи переходу від логічних до імовірнісних моделей надійності систем ще дуже громіздкі і трудомісткі, навіть, при їх машинній реалізації;

– наявні методологічні засоби ще не в повній мірі алгоритмізовані. Це обмежує практичне застосування логіко-імовірнісного методу для оперативного аналізу надійності, навіть, монотонних простих систем.

4. Аналітично-статистичний метод не вимагає складання структурно-логічної схеми, дерев відмов або дерев подій і застосовується при наявності в системі будь-яких видів резервування, в тому числі резервування з відновленням. Розрахунок показників надійності та безпеки системи аналітико-статистичним методом проводиться на основі інформації, одержуваної в процесі статистичного моделювання потоку відмов її елементів [104]. Похибки оцінок шуканих показників визначаються числом реалізацій випадкового процесу.

Розрахунок показників надійності системи проводиться на основі інформації, одержуваної в процесі статистичного моделювання потоку відмов її елементів [105, 106]. При цьому потік відмов елементів на обмеженому часовому інтервалі $(0, t]$ представляється у вигляді напівмарковського процесу. Імовірнісний опис ланцюга Маркова даного процесу характеризується виразом:

$$P(E_0, E_1, \dots, E_{r-1}, E_r^*) = P(E_0) \prod_{\mu=1}^{r-1} \pi_{\mu} \left(\frac{E_{\mu}^*}{E_{\mu-1}} \right) \left[1 - \pi_r \left(\frac{E_r^*}{E_{r-1}} \right) \right], \quad (B.5)$$

де E_0, E_1, \dots, E_{r-1} – безповоротні стани ланцюга Маркова, E_r^* – поглинаючий стан ланцюга Маркова, $\pi_{\mu} \left(\frac{E_{\mu}^*}{E_{\mu-1}} \right)$ – імовірність переходу ланцюга Маркова з безповоротного стану $E_{\mu-1}$ в безповоротній стан E_{μ} , $\pi_r \left(\frac{E_r^*}{E_{r-1}} \right)$ – імовірність переходу ланцюга Маркова з безповоротного стану E_{r-1} в поглинаючий стан E_r^* .

Послідовність безповоротних станів є впорядкованою в часі сукупністю подій виникнення відмов окремих елементів до $(r - 1)$ відмови включно. Наприклад, стан E_j відповідає такому стану системи, при якому є j відмовиших елементів. Стан з r відмовившими елементами, в який вони переходить зі стану E_{r-1} і залишається в ньому до кінця заданого часового інтервалу, поглинає станом

E_r^* . Тому імовірність реалізації потоку відмов з встановленим числом j відмовивших елементів системи дорівнює імовірності поглинання процесу в стані E_r^* . Час t_i виникнення в потоці відмови j -го елемента визначається за рекурентною формулою:

$$t_i = t_{i-1} + T_{i-1,i} \quad (\text{B.6})$$

де t_{i-1} – момент часу виникнення в потоці відмови $(i-1)$ -го елемента, $T_{i-1,i}$ – інтервал часу, протягом якого процес знаходиться в стані E_{i-1} .

Для визначення імовірностей $\pi_\mu\left(\frac{E_\mu^*}{E_{\mu-1}}\right)$ и $\pi_r\left(\frac{E_r^*}{E_{r-1}}\right)$, где $\mu = \overline{1, r-1}$

$$\pi_\mu\left(\frac{E_\mu^*}{E_{\mu-1}}\right) = \frac{1}{n} \sum_{z=1}^n \pi_{\mu,z}\left(\frac{E_\mu^*}{E_{\mu-1}}\right) \quad (\text{B.7})$$

$$\pi_r\left(\frac{E_r^*}{E_{r-1}}\right) = \frac{1}{n} \sum_{z=1}^n \pi_{r,z}\left(\frac{E_r^*}{E_{r-1}}\right) \quad (\text{B.8})$$

де $\pi_{\mu,z}\left(\frac{E_\mu^*}{E_{\mu-1}}\right)$ – значення оцінки імовірності $\pi_\mu\left(\frac{E_\mu^*}{E_{\mu-1}}\right)$, отримане в z -й реалізації;

де $\pi_{r,z}\left(\frac{E_r^*}{E_{r-1}}\right)$ – значення оцінки імовірності $\pi_r\left(\frac{E_r^*}{E_{r-1}}\right)$, отримане в z -й реалізації;

n – число реалізацій випадкового процесу, яке вибирається в межах 50...100.

Однак, аналітико-статистичний метод має наступні недоліки:

- метод дозволяє аналізувати системи тільки простої структури;
- неможливо досліджувати залежні процеси, аналізувати системи зі змінною структурою.

Таким чином, однією з основних проблем, які необхідно вирішити при створенні систем реального часу, є забезпечення їх якості та надійності.

Основним способом вирішення цієї проблеми є верифікація систем [107]. Верифікація системи може бути виконана шляхом включення системи перевірки під час роботи і використання для тестування. Включає перевірку системи під час роботи і використовується для тестування.

ДОДАТОК Г – ПРОЦЕС ВЕРИФІКАЦІЇ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ НА ОСНОВІ ЧАСОВИХ АВТОМАТІВ

Процес верифікації систем реального часу на основі часових автоматів

Основна складність перевірки моделей, в яких часова область неперервна, полягає в тому, що перевіряється модель має нескінченно багато станів – для кожного значення часу система може бути в певному стані, а число цих значень нескінченно.

Основна ідея виконання перевірки моделей для безперервної часової області полягає в тому, щоб реалізувати дискретизацію цієї галузі за запитом – залежно від якості, яке повинно бути доведено і моделі системи [108].

Системи реального часу мають особливості, які роблять неможливою їх перевірку за допомогою верифікаторів загального призначення: при створенні таких систем враховуються обмеження на часові характеристики функціонування, а значить, і верифікатор повинен дозволяти перевіряти відповідність системи цих обмежень. Для верифікації систем реального часу необхідний особливий підхід, що включає в себе відповідні математичні моделі та алгоритми їх побудови і перевірки. В якості таких моделей може виступати зважений граф, вершинам якого зіставляється час виконання окремих дій, або часового автомату. Верифікація моделей систем включає в себе кілька основних етапів: перетворення моделі в структуру Крипке і побудова вимог до моделі; власне процес верифікації (відпрацювання алгоритмів на отриманих моделях); побудова підтверджують контрприкладів в моделі Крипке, а також уявлення контрприкладів, записаних в термінах моделі Крипке, у вигляді шляхів у вихідній моделі. Для опису вимог до систем, стан яких змінюється в часі, використовуються темпоральна логіка. Ця логіка є класичною логікою висловлювань, розширеною деякими темпоральними операторами, які дозволяють описати відносини між моментами часу, в які настали ті чи інші

події. Зазвичай, неважливо, в які саме моменти часу в системі відбуваються ті чи інші події, має значення лише порядок їх настання. Але відсутнє кількісне уявлення про час істотно для специфікації систем, критичних до часу, а тому для цієї мети не можна використовувати основні темпоральні логіки – LTL і CTL [109]. Одним з найбільш важливих аспектів є вибір семантики часової області. Оскільки в природі час має безперервну структуру, найбільш природним вибором є безперервна часова область, така як речові числа. Однією з темпоральних логік, які дозволяють здійснювати перевірку моделей в термінах безперервної часової області ($\mathbb{R} + -$ невід'ємні дійсні числа), є розгалуження темпоральної логіки реального часу Timed CTL [33]. Базова ідея TCTL полягає у використанні часових обмежень в якості параметрів звичайних темпоральних операторів CTL. Для перевірки відповідності моделі специфікації, вираженої в вигляді TCTL-формули, необхідно побудувати дерево формул, операторами кожної з яких є формули нижчого рівня. Приклад дерева формул наведено на рис.Г.1.

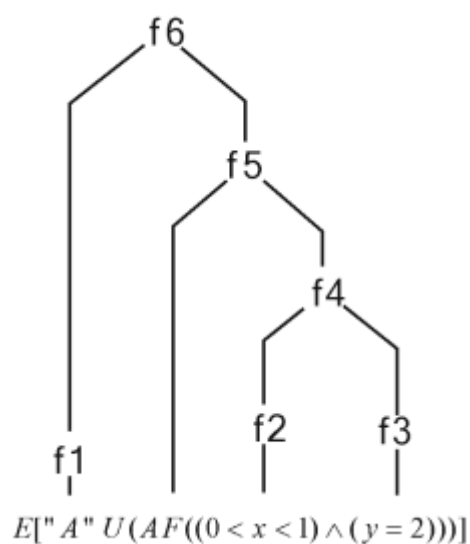


Рис.Г.1. Дерево формул TCTL-формули

Побудова моделі верифікації здійснюється в два етапи: перший крок аналогічний побудові структури Крипке для верифікаторів загального призначення; однак, з огляду на специфіку систем реального часу, необхідно

використовувати більш складну модель [110]. В якості специфікаційного формалізму для систем реального часу вводиться поняття часового автомату – розширення кінцевого автомату, в якому для вимірювання часу використовуються годинник. Стан часового автомату являє собою пару (s, v) , де s – локація (відповідна позиції в нечасовому кінцевому автоматі), а v – сукупність значень годин. Такий вибір моделі дозволяє перенести на неї інваріанти станів і обмеження переходів вихідної системи. Також на цьому етапі вирішується ще одне завдання: в разі використання в системі декількох паралельно діючих автоматів, необхідно побудувати їх паралельну композицію. Потім здійснюється подальше перетворення моделі: по часовому автомату будується граф часових зон. Кожній вершині графа відповідає одна з локацій автомату, побудованого на попередньому етапі, а також часова зона – область часового простору, всі елементи якої еквівалентні щодо умов певної конкретної задачі. Зони вибираються так, щоб інтерпретації годин задовольняли заданим часовим обмеженням (рис. Г.2)

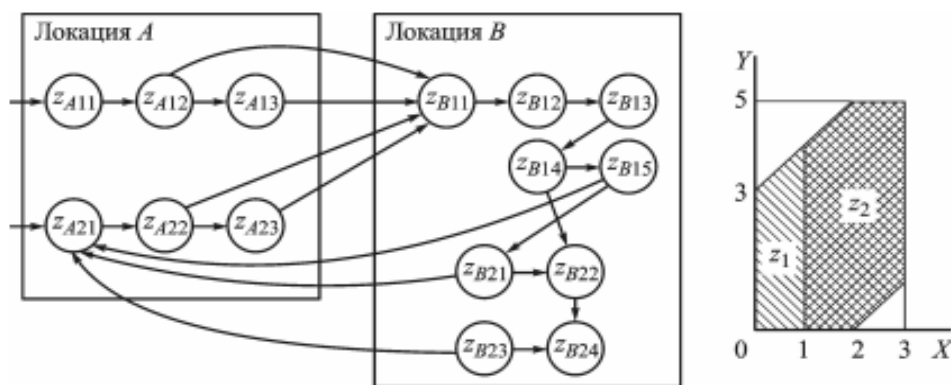


Рис. Г.2 Граф часових зон (зліва); зони Z_1 і Z_2 в часовому просторі з 2 годинами (справа)

Часовий автомат – це фактично кінцевий автомат, забезпечений кінцевою множиною речових часових змінних. Години використовуються для вимірювання часових характеристик. Години – це змінна, що приймає значення в \mathbb{R}^+ . У якості годин використовуються літери x , y і z . Стан часового автомату складається з поточної позиції автомату і поточних значень всіх часових змінних.

Години можуть бути ініційовані (в нуль), коли система робить перехід. Після ініціалізації вони починають приховано збільшувати своє значення. Всі години йдуть з однаковою швидкістю. Значення годин, таким чином, позначає час, що минув з моменту їх ініціалізації. Умови на значення годин використовуються в якості активатора умов переходів: перехід активний і може бути пройдений, тільки якщо часове обмеження виконано, в іншому випадку – перехід блокований. Для обмеження часу, який може бути проведено в позиції, використовуються інваріанти на години. Активують умови та інваріанти є обмеженнями для годин [111].

Для множини C годин (де $x, y \in C$) безліч часових обмежень. Над \mathbb{Z} позначається $\Psi(C)$ і визначається наступним чином: $\alpha ::= x \sim c \mid x - y \sim c \mid \in \alpha \mid (\alpha \in \alpha)$.

Тут $c \in \mathbb{N} \sim \in \{<, \leq\}$.

Часовий автомат – це набір $(L, l_0, E, Label, C, clocks, guard, inv)$, де

- L – непорожня кінцева множина позицій з початковою позицією $l_0 \in L$;
- E – множина ребер, кожне з яких (будемо далі позначати його e) забезпечено позначками $src(e)$ і $dest(e)$, вказують, відповідно, з якого стану виходить дане ребро і в який стан воно входить (таким чином, одну і ту ж пару станів може з'єднувати скільки завгодно ребер);

- $Label: L \rightarrow 2^{AP}$ – функція, яка зіставляє кожній позиції $l \in L$ множина $Label(l)$ атомарних пропозицій;

- C – кінцева множина годин;

- $clocks: E \rightarrow 2^C$ – функція, яка зіставляє кожному ребру $e \in E$ множина годин $clocks(e)$;

- $guard: E \rightarrow \Psi(C)$ – функція, яка позначає кожне ребро $e \in E$ часовими обмеженнями $guard(e)$ над C ;

- $inv: L \rightarrow \Psi(C)$ – функція, яка зіставляє кожній позиції інваріант.

Функція $Label$ грає ту ж роль, що і в моделях для CTL і LTL та зіставляє позиції множин атомарних пропозицій, які вірні в цій позиції. Як буде показано

нижче, ця функція важлива тільки для визначення виконуваності атомарних пропозицій в семантиці TCTL. Для ребра e множина $\text{clocks}(e)$ позначає множину годин, які повинні бути скинуті при проході e . Функція $\text{guard}(e)$ – активує умову, яка визначає, коли e може бути пройдено. Для позиції l умова $\text{inv}(l)$ обмежує час, який може бути проведений в цій позиції.

Інтерпретація часових автоматів визначається в термінах нескінченної системи переходів (S, \rightarrow) , де S – це множина станів (пар, що складаються з позиції і часової оцінки), а \rightarrow – відношення переходів, яке визначає, як одні стани змінюються іншими. Існує дві можливі поведінки, що реалізуються часовим автоматом: перехід по ребру в автоматі або очікування в одному стані. Обидві поведінки представляються одним станом переходів \rightarrow .

Множина станів – це множина пар (l, v) , де l – позиція A , а v – часова оцінка над C (множина годин A) таких, що v не порушує інваріант l . Для переходу, який відповідає (a) . Проходження ребра e в часовому автоматі, v має (b) задовольняти часовому обмеженню e (в іншому випадку ребро заблоковано) і (c) нова часова оцінка, отримана шляхом скидання всіх годин, зіставлених ребру e в v , задовольняє інваріанта цільової позиції l' (в іншому випадку в l' перебування заборонено). Очікування в позиції (друге правило) протягом ненульового проміжку часу дозволено, якщо інваріант зберігається в часі. Недостатньо вимагати тільки $v + d \models \text{inv}(l)$, так як це може порушити інваріант для деякого $d' < d$.

Стан s часового автомата A називається досяжним, якщо $s_0 * s$, де s_0 початковий стан автомата A , а ставлення $*$ – це ефлексивне і транзитивних замикання відношення. Шляхом називається Нескінченна послідовність $s_0 a_0 s_1 a_1 s_2 a_2 \dots$ станів, що чергуються з маркерами переходів, таких що $s_i a_i s_{i+1}$ для всіх $i \geq 0$.

Позиція шляху – це пара (i, d) , така що $d \leq a_i$. Множина позицій шляху виду (i, d) характеризує множину станів, що входять в шлях σ при проходженні від стану s_i до нащадків s_{i+1} . Стан s_i будемо представляти парою (l_i, v_i) . Нехай P_{os}

(σ) позначає множину позицій шляху σ . Для зручності нехай $\sigma(i, d)$ визначає стан $(i, v_i + d)$. Лінійний порядок на позиціях шляху визначається наступним чином: $(i, d) < (j, d')$, якщо і тільки якщо $i < j$ ($i = j \wedge d < d'$). Отже, позиція шляху (i, d) передує позиції шляху (j, d') , якщо i відвідується перед j в σ або якщо ці позиції шляху вказують на одну позицію в автоматі d менше d' [17].

Схема верифікації систем реального часу наведена на рис. 1.11.

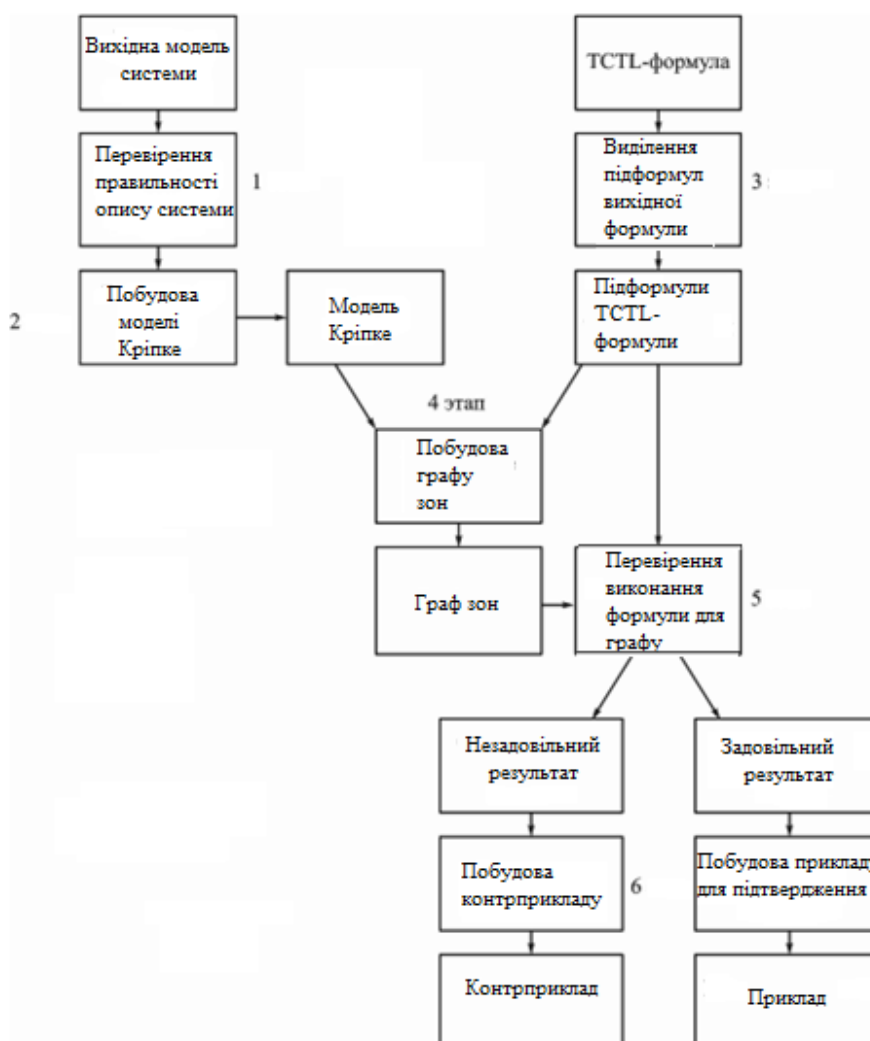


Рис. Г.3. Схема процесу верифікації систем реального часу

Аналіз якості та коректності систем реального часу за допомогою часових автоматів не дозволяє в повній мірі оцінити такі характеристики верифікації системи:

- стохастичність переходів системи зі стану в стан;
- використання принципу «білий ящик»;

– обмеженість часу виконання операцій.

Для вирішення даного кола проблем, необхідні нетрадиційні способи реалізації. Тому необхідний пошук нових шляхів вирішення.

ДОДАТОК Д – ПОБУДОВА МОДЕЛІ НА ОСНОВІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Побудова моделі на основі нейронної мережі

Завдяки властивостям, які притаманні нейронним мережам відпадає необхідність складання аналітичної моделі і, відповідно, відпадають проблеми, пов'язані зі збільшенням розмірності системи і неможливістю аналітичного запису моделі похибок мікромеханічних інерціальних навігаційних систем. Використовуючи донавчання нейронних мереж під час роботи, можна вирішити і проблему змінних коефіцієнтів в динамічному режимі роботи.

Таким чином, така модель дозволяє враховувати інструментальні похибки гіроскопів і акселерометрів з будь-якою точністю, використовуючи при цьому як лінеаризовані моделі помилок, так і нелінеаризовані. Це дозволяє істотно підвищити точність навігаційних систем без залучення великих обчислювальних потужностей. Для даної роботи була обрана нечітка нейронна мережа.

Поєднання нейронної мережі і теорії нечітких множин дає можливість апроксимації нелінійного функціонального відображення. Штучні нейро-нечіткі мережі (ННС) знайшли широке застосування на практиці при вирішенні завдань діагностики і прогнозування, а також розпізнавання образів завдяки таким їх властивостям, як здатність навчатися за прикладами, можливість інтеграції апріорних експертних знань в структуру мережі, масовий паралелізм обчислень, простота реалізації, інтерпретабельність, а також можливість використання побудованої моделі для здобуття знань з даних [63-65].

В даний час в літературі [112-114] запропоновано велику кількість різних підходів за архітектурою, можливостям і використовуваним нейро-нечіткими методам (ННМ) як гібридних, так і кооперативних. Аналіз ННМ дозволив виявити наступні ключові властивості і відмінні риси:

- можливість індукування набору вирішальних правил;
- орієнтованість на певний тип (сімейство) нечітких систем;

- застосування алгоритмів навчання (алгоритми оцінювання параметрів);
- можливість оперативного навчання – можливість перебудови структури (зміни, видалення деяких зв'язків, вузлів);
- збереження, закладених в систему, знань в процесі параметричної оптимізації або навчання новим правилам;
- безліч параметрів нечіткої моделі, які можуть бути налаштовані.

Нейро– нечіткі моделі можуть бути реалізовані кількома способами. У найпростішому випадку спільну модель [63, 114] можна розглядати, як предпроцесор, де механізм навчання штучної нейронної мережі (ANN) визначає правила нечіткого виведення (FIS). Як тільки параметри FIS визначаються, ANN працює в звичайному режимі (рис. 1.12). Функції належності, зазвичай, апроксимуються нейронною мережею з навчальних даних.

Інший підхід у реалізації нейро-нечітких моделей – це паралельні моделі [113] нейронна мережа яких допомагає нечіткій системі визначити потрібні параметри, особливо якщо вхідні змінні системи не можуть бути безпосередньо виміряні. Навчання відбувається тільки в нейронній мережі, і нечітка система залишається незмінною. У деяких випадках нечіткі виходи не можуть бути безпосередньо застосовані до процесу. В цьому випадку нейронна мережа може діяти як постпроцесор нечітких виходів. На рис. 1.13 представлена паралельна нейро-нечітка модель, в якій вхідні дані подаються на нейронну мережу, а вихід з нейронної мережі додатково обробляється за допомогою нечіткої системи.

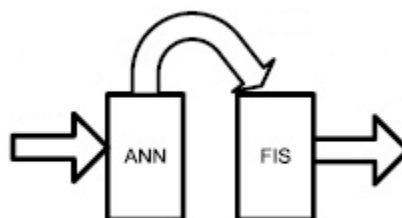


Рис. Д.1 Спільна нейро-нечітка модель

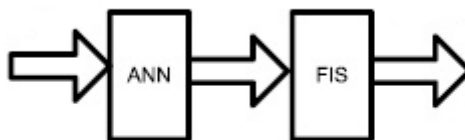


Рис.Д.2. Паралельна нейро- нечітка модель

Найбільш поширеними є інтегровані моделі, в яких навчальний алгоритм нейронної мережі використовується для визначення параметрів системи нечіткого виведення. Нечітка система виведення і відповідні функції належності базуються на апріорних знаннях системи. З іншого боку, механізм навчання нейронної мережі не залежить від апріорної інформації, а є стандартним для обраної архітектури штучної нейронної мережі [65].

Принцип функціонування нейро-нечіткої моделі в задачах автоматичного керування може бути ілюстрований на прикладі найбільш поширеної моделі.

Вибір нейро-нечітких моделей здійснюється в залежності від класу вирішуваних завдань. Так, для інтелектуального управління найбільше застосування отримали моделі ANFIS, FALCON, GARIC, NEFCON, FUN.

Розглянемо особливості кожної з моделей.

ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System) [64]. ANFIS – адаптивна мережа нечіткого виведення реалізує нечітку систему Такагі - Сугено і являє собою п'ятишарову нейронну мережу прямого поширення .

Вхідні змінні моделі x_{ANFIS1} і x_{ANFIS2} – керовані змінні (на практиці найчастіше застосовується неузгодженість між заданим і поточним значенням керованої змінної), вихідні змінні y – керуючий вплив.

Перший шар визначає нечіткі терми вхідних параметрів. Виходи вузлів цього шару є значення функції належності при конкретних значеннях входів $\mu_{ANFISi}(x_{ANFISj})$.

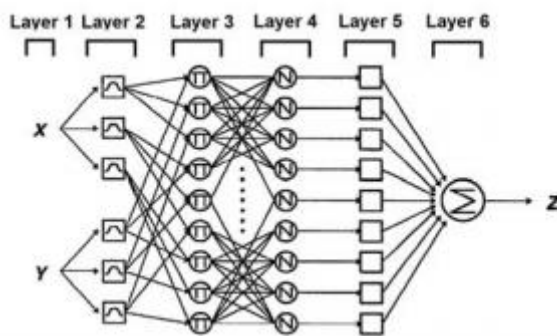


Рис. Д.3. Структура ANFIS-мережі

Другий шар визначає посилення нечітких правил. Даний шар – неадаптивний. Кожен вузол цього шару відповідає одному непевному правилу. Вузол другого шару з'єднаний з тими вузлами першого шару, які формують передумови відповідного правила. Виходами вузла ω_{ANFISi} є ступінь виконання правила, яка розраховується як добуток вхідних сигналів.

Третій шар здійснює нормалізацію ступенів виконання правил:

$$\bar{\omega}_{ANFISi} = \frac{\omega_{ANFISi}}{\sum \omega_{ANFISi}} \quad (Д.1)$$

Неадаптивні вузли цього шару розраховують відносну вагу виконання нечіткого правила.

Четвертий шар визначає внесок кожного нечіткого правила у вихід мережі. Вузол четвертого шару розраховує внесок нечіткого правила ν_i у вихід мережі.

П'ятий шар формує керуючий сигнал:

$$y = \sum y_{ANFISi} \quad (Д.2)$$

Структура ANFIS гарантує, що кожен лінгвістичний термін представлений тільки одною нечіткою множиною. Процедура навчання з ANFIS не має обмежень на модифікацію функцій належності. Незважаючи на те, що система є дуже точною, виділяють основні недоліки: неможливість роботи з декількома

системами виведення, можливість навчання тільки повністю певних структур, відсутність динамічного створення нового правила.

Модель FALCON (Fuzzy Adaptive learning Control Network) [65] має п'ятишарову архітектуру і реалізує тип нечіткого висновку Мамдані, що робить її більш інтерпретованою (рис. 1.14). Також модель має навчальний етап для створення початкової структури.

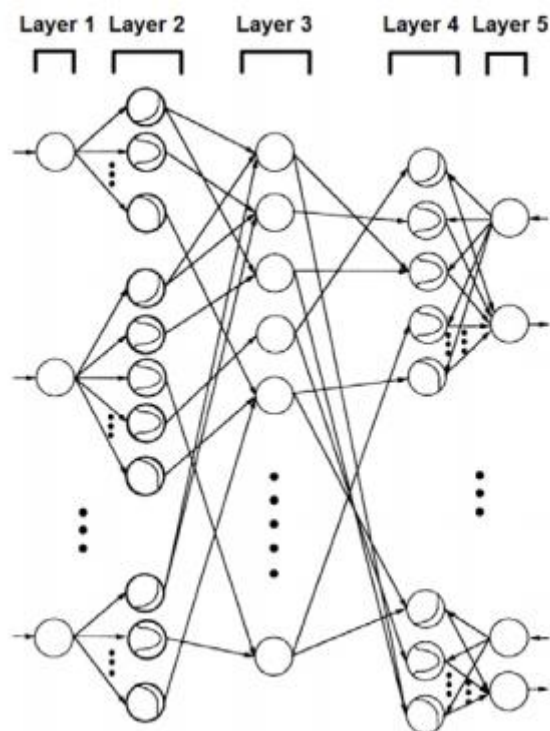


Рис. Д.4 Структура FALCON-мережі

Перший прихований шар відповідає за фазифікацію кожної вхідної змінної. Другий – визначає передумови правила з подальшим наслідком з правил в третьому прихованому шарі. FALCON використовує двоетапний алгоритм, що складається з навчання без вчителя і параметричної оптимізації на основі методу градієнтного спуску. На першому етапі параметри функції належності визначаються самоорганізаційними методами навчання аналогічно статистичних методів кластеризації. Після того формуються правила-передумови. Після визначення нечіткої бази правил встановлюється вся структура мережі. Другий етап навчання здійснює налаштування параметрів входу і виходу оптимальних

функцій належності. Алгоритм зворотнього поширення використовується для навчання з учителем. Основний недолік моделі полягає в тому, що використання типу нечіткого висновку Мамдані знижує точність в оцінці параметрів.

GARIC (Generalized Approximate Reasoning based Intelligent Control) є п'ятишаровою мережею. GARIC використовує мінімаксний метод для обчислення вихідних правил. Для цього методу необхідно чітке вихідне значення з кожного правила. Отже, висновки повинні бути дефазифіковані, перш ніж вони накопичаться в кінцеве вихідне значення контролера. GARIC як алгоритм навчання використовує метод градієнтного спуску і навчання з учителем. Навчання зупиняється, якщо вихідний сигнал мережі припиняє змінюватися. Складна процедура навчання і архітектура є основними недоліками GARIC.

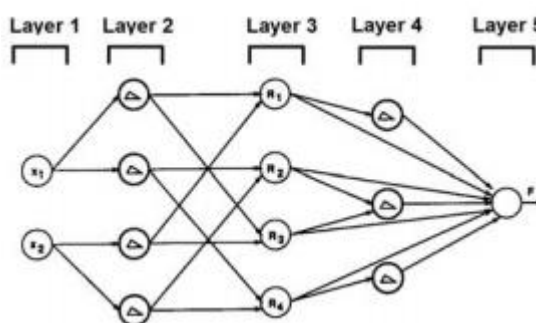


Рис.Д.5 Структура GARIC -мережі

Алгоритм навчання для NEFCON (Neuro-Fuzzy Control) [64] здатний розпізнавати нечіткі множини, а також нечіткі правила реалізації типу систем нечіткого висновку Мамдані [87]. Особливістю NEFCON є те, що зв'язки зважуються з нечіткими множинами замість дійсних чисел. NEFCON використовує інкрементний або декрементний алгоритм навчання бази правил і алгоритм зворотнього поширення для навчання нечітких множин. Система NEFCON здатна вбудовувати ранні знання, а також навчатися з нуля, що робить її особливо цінною в задачах синтезу з об'єктом «чорний ящик». Продуктивність системи дуже сильно залежить від евристичних факторів, таких як швидкість навчання, заходи помилки і т.д.

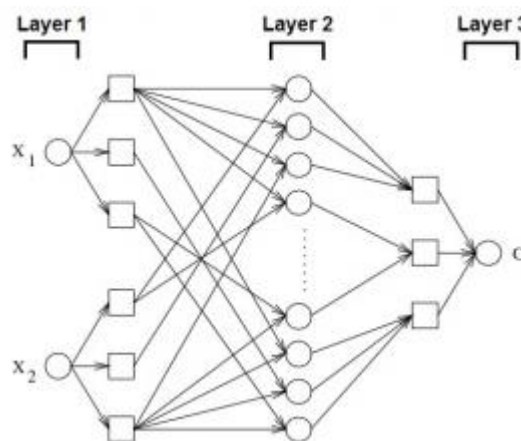


Рис.Д.6. Структура NEFCON - мережі

Основний недолік моделі полягає в тому, що використання типу нечіткого висновку Мамдані знижує точність в оцінці параметрів.

SONFIN (Self-Constructing Neural Fuzzy Inference Network) це модель на основі Takagi-Sugeno-Kang типу нечітких правил і складається з шести шарів [64].

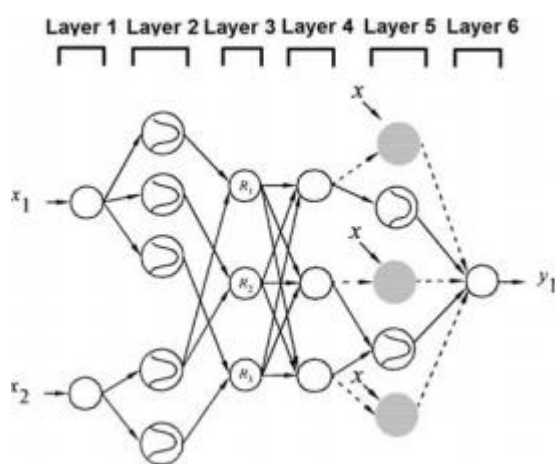


Рис. Д.7 Структура SONFIN -мережі

Архітектура SONFIN схожа на ANFIS. Шар 1-4 і 6 є функціонуючими. П'ятий шар може містити два типи вузлів. Перший тип являє собою нечіткі множини від функції належності в той час, як другий тип за бажанням і отримує свої вхідні сигнали від першого і четвертого шарів. Побудова SONFIN відбувається одночасно з структурою і способом навчання параметрів.

Структура навчання визначає як попередня умова і наступні частини правил шляхом мінімізації кількість правил і функцій належності для входу і оптимально генеруючи новий склад функції для вихідних змінних. У моделі немає ніяких початкових правил, вони формуються як онлайн навчання. Недолік - недостатньо висока точність.

Аналіз існуючих нейро-нечітких моделей показав, що вибір типу моделі залежить від багатьох факторів. Як орієнтир використовуються для підвищення «інтелекту»: швидкість навчання, онлайн адаптивність, досягнення глобального рівня помилок і недорогі обчислення. Як правило, в якості нечітких моделей вибираються моделі Мамдані або Сугено. Нечіткі системи типу Сугено є високопродуктивними, але часто вимагають складних процедур навчання. Нечіткі системи типу Мамдані використовують більш швидкі евристичні методи, але з втратою в продуктивності. Багато нейро-нечітких моделей використовують контрольовані і неконтрольовані методи для розпізнавання різних параметрів системи виведення.

ДОДАТОК Е – ПОНЯТТЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ. ВИДИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Поняття інформаційних технологій. Види інформаційних технологій

До основних видів інформаційних технологій відносяться наступні [115]:

1. Інформаційна технологія обробки даних призначена для вирішення добре структурованих задач, алгоритми рішення яких добре відомі і для вирішення яких є всі необхідні вхідні дані. Ця технологія застосовується на рівні виконавської діяльності персоналу невисокої кваліфікації з метою автоматизації деяких рутинних, постійно повторюваних операцій управлінської праці.

2. Інформаційна технологія управління призначена для інформаційного обслуговування всіх працівників підприємств, пов'язаних з прийняттям управлінських рішень. Тут інформація, зазвичай, представляється у вигляді регулярних або спеціальних управлінських звітів і містить відомості про минуле, сьогодення і можливе майбутнє підприємства.

3. Інформаційна технологія автоматизованого офісу використовується для доповнення існуючої системи зв'язку персоналу підприємства. Автоматизація офісу передбачає організацію і підтримку комунікаційних процесів як всередині фірми, так і з зовнішнім середовищем на базі комп'ютерних мереж та інших сучасних засобів передачі та роботи з інформацією.

4. Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень призначена для вироблення управлінського рішення, яка відбувається в результаті ітераційного процесу, в якому беруть участь система підтримки прийняття рішень (обчислювальна ланка і об'єкт управління) і людина (керуюча ланка, що задає вхідні дані і оцінює отриманий результат).

5. Інформаційна технологія експертних систем заснована на використанні штучного інтелекту. Експертні системи дають можливість менеджерам отримувати консультації експертів з будь-яких проблем, про які в цих системах накопичені знання.

Автоматизовані ІТ в даний час можна класифікувати за рядом ознак [116]:

- способу реалізації в АІС;
- ступенем охоплення завдань управління;
- класу реалізованих технологічних операцій;
- типу призначеного для користувача інтерфейсу;
- способу побудови мережі;
- обслуговуваних предметних областях.

За способом реалізації ІТ в ІС виділяють традиційно сформовані і нові інформаційні технології. Якщо традиційні ІТ існували в умовах централізованої обробки даних, до масового використання персональних ЕОМ, і були орієнтовані, головним чином, на зниження трудомісткості при формуванні регулярної звітності, то нові інформаційні технології пов'язані з інформаційним забезпеченням процесу управління в режимі реального часу.

Нова інформаційна технологія – технологія, яка ґрунтується на застосуванні комп'ютерів, активній участі користувачів (непрофесіоналів у галузі програмування) в інформаційному процесі; високому рівні дружнього користувальницького інтерфейсу; широкому використанні пакетів прикладних програм загального і проблемного призначення; можливості доступу (для користувача) до віддалених баз даних і програм завдяки обчислювальним мережам [117].

За ступенем охоплення завдань управління виділяють електронну обробку даних, коли з використанням ЕОМ ведеться обробка даних без перегляду методології та організації процесів управління, вирішуються окремі економічні завдання, що забезпечують часткову автоматизацію управлінської діяльності. У випадку автоматизації функцій управління обчислювальні засоби використовуються для комплексного вирішення функціональних завдань, формування регулярної звітності та роботи в інформаційно-довідковому режимі для підготовки управлінських рішень. Сюди можуть бути віднесені ІТ підтримки прийняття рішень. Вони передбачають широке використання економіко-

математичних методів для аналітичної роботи і формування прогнозів, складання бізнес-планів, обґрунтованих оцінок і висновків по досліджуваним процесам виробничо-господарської практики [115].

До названої групи належать і широко впроваджуються в даний час ІТ, що одержали назви електронного офісу та експертної підтримки рішень. Ці два варіанти ІТ орієнтовані на використання останніх досягнень в області інтеграції новітніх підходів до автоматизації роботи фахівців і керівників, створення для них найбільш сприятливих умов виконання професійних функцій, якісного і своєчасного інформаційного обслуговування за допомогою повного автоматизованого набору управлінських процедур, реалізованих в умовах конкретного робочого місця і офісу в цілому.

Електронний офіс передбачає наявність інтегрованих пакетів прикладних програм, що включають спеціалізовані програми та інформаційні технології, що забезпечують комплексну реалізацію завдань предметної області. В даний час все більшого поширення набувають електронні офіси, устаткування і співробітники яких можуть розташовуватися не в одному приміщенні. Необхідність роботи з документами, матеріалами, базами даних конкретної організації або установи в домашніх умовах, в готелі і в транспортних засобах привела до появи ІТ віртуальних офісів. Такі ІТ ґрунтуються на роботі локальної мережі, з'єднаної з територіальною або глобальною мережею. Завдяки цьому абонентські системи працівників установи, незалежно від того, де вони знаходяться, виявляються включеними в загальну для них мережу.

Автоматизовані інформаційні технології експертної підтримки складають основу автоматизації праці фахівців-аналітиків. Ці працівники, крім аналітичних методів і моделей для дослідження складаються в ринкових умовах ситуацій зі збуту продукції, послуг, фінансового становища підприємства, фірми, фінансово-кредитної організації, змушені використовувати накопичений і зберігається в системі досвід оцінки ситуацій, тобто відомості, що становлять базу знань у конкретній предметній області. Оброблені за певними правилами

відомості дозволяють готувати обґрунтовані рішення для поведіння на фінансових і товарних ринках, виробляти стратегію в областях менеджменту і маркетингу.

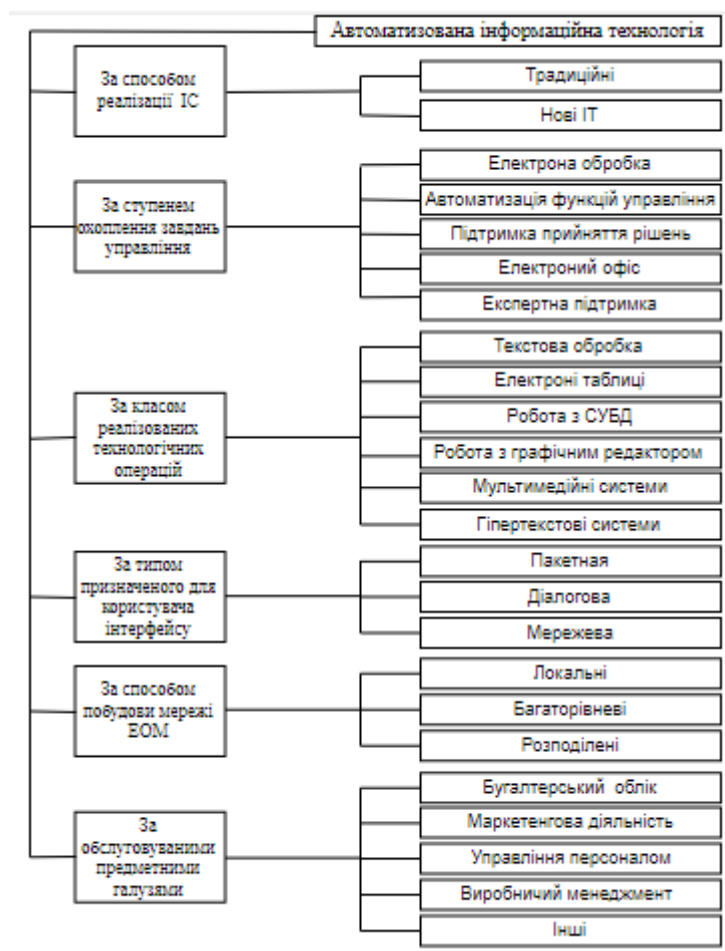


Рис. Е.1. Класифікація інформаційних технологій

По класу реалізованих технологічних операцій ІТ розглядаються в програмному аспекті і включають: текстову обробку, електронні таблиці, роботу з базами даних під керуванням систем управління базами даних (СКБД), обробку графічної і звукової інформації, мультимедійні системи, експертні системи і штучний інтелект, оперативний пошук інформації в зовнішніх базах даних, гіпертекстові системи, автоматизацію технології програмування та ін. Особливості наведених в класифікації технологій детально вивчаються в курсі «Інформатика».

За типом призначення для користувача інтерфейсу можна розглядати ІТ з точки зору можливостей доступу користувача до інформаційних і обчислювальних ресурсів. Так, пакетна ІТ виключає можливість користувача впливати на обробку інформації, поки вона відтворюється в автоматичному режимі. Це пояснюється організацією обробки, яка заснована на виконанні програмно заданій послідовності операцій над заздалегідь накопиченими в системі і об'єднаними в пакет даними. На відміну від пакетної діалогова ІТ надає необмежену можливість користувачеві взаємодіяти з зберігаються в системі інформаційними ресурсами в реальному масштабі часу, одержуючи при цьому всю необхідну інформацію для вирішення функціональних завдань і прийняття рішень [116].

В даний час спостерігається тенденція до об'єднання різних типів інформаційних технологій в комп'ютерно-технологічні комплекси, які орієнтовані на технологічну взаємодію сукупності об'єктів, утворених пристроями передачі, обробки, накопичення, зберігання та захисту даних. Також ІТ отримали своє поширення в системах навігації. Аналіз систем навігації усередині приміщення розглянуто в наступному розділі.

ДОДАТОК Є – СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці в спеціалізованих виданнях з переліком наукометричних баз, де вони проіндексовані:

1. Петрова О. А. Метод определения текущего расположения в системах позиционирования и навигации внутри помещения / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик Дирк Ван Мероде // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. – 2017. – № 25. – С. 270-278. DOI: <http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.25.101.2017.31>; **внесок автора:** розроблено інтегрований метод визначення поточного положення; **база (и):** *Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals Directory, РИНЦ, Реферативний журнал ВІНІТІ, Україніка наукова, Google Scholar*.

2. Петрова О. А. Метод визначення заданого розташування всередині приміщення при використанні голосових команд/ О. А. Петрова, Г. В. Табунщик // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. – 2019. – № 37(107). – С.87-94; **внесок автора:** запропоновано метод голосової навігації для визначення заданого розташування всередині приміщення; **база (и):** *Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals Directory, РИНЦ, Реферативний журнал ВІНІТІ, Україніка наукова, Google Scholar*.

3. Петрова О. А. Інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик. // *Вісник СНУ ім. В. Даля*. – 2018. – №6. – С. 125–129; **внесок автора:** запропоновано інформаційну технологію оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення; **база (и):** *Index Copernicus International, Google Scholar*.

4. Петрова О. А. Дослідження ефективності пошукових алгоритмів для систем навігації всередині приміщення / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик // *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” (ІКОТ-2017)*. – Покровськ: ДВНЗ “ДонНТУ”. – 2018. – №1 (24). – С. 80-84; **внесок автора:** проведено дослідження

алгоритмів пошуку найоптимальнішого маршруту; **база (и):** *Crossref, Index Copernicus, Google Scholar*.

5. Петрова, О. А. Метод нейро-нечеткой верификации систем позиционирования и навигации внутри помещения / О. А. Петрова, Г. В. Табунщик, Т. И. Каплиенко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” (ІКОТ-2017). – Покровськ: ДВНЗ “ДонНТУ”. – 2017. – №2 (25). – С. 84-89; **внесок автора:** розроблення методу нейро-нечіткої верифікації систем позиціонування та навігації всередині приміщення; **база (и):** *Crossref, Index Copernicus, Google Scholar*.

6. Петрова О. А. Информационная система для исследования надежности систем позиционирования и навигации внутри помещения / Петрова О. А., Табунщик Г. В. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” (ІКОТ-2016). – Покровськ: ДВНЗ “ДонНТУ”. – 2016. – №2 (23). – С. 125-130; **внесок автора:** запропоновано інформаційну технологію дослідження надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення; **база (и):** *Crossref, Index Copernicus, Google Scholar*.

7. Petrova O. Modelling of location detection for indoor navigation systems / O. Petrova, G. Tabunshchuk, // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: 9th International Conference, Romania, 21-23 September 2017: proceedings. – Bucharest: IEEE, 2017. – P. 961-964. DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095229, INSPEC Accession Number: 17320244; **внесок автора:** розроблення методу визначення місцезнаходження для внутрішніх навігаційних систем; **база (и):** *Web of Science, SCOPUS, IEEE*.

8. Petrova O. Method of Audio Interaction with Indoor Navigation Systems / O. Petrova, G. Tabunshchuk. // The 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) 18-21 September, 2019, Metz, France. – 2019. P. 184-188; **внесок**

автора: запропоновано метод голосової навігації для визначення заданого розташування всередині приміщення; **база (и):** *Web of Science, SCOPUS, IEEE.*

9. Petrova O. Fuzzy verification method for indoor-navigation systems / O. Petrova, G. Tabunshchuk, T. Kapliienko, O. Kapliienko // *Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET): 14th International Conference, Ukraine, 20-24 February 2018, Lviv-Slavske: IEEE, 2018.* – P. 65-68, DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336157 **внесок автора:** удосконалення методу нейро-нечіткої верифікації систем позиціонування та навігації всередині приміщення; **база(и):** *Web of Science, SCOPUS, IEEE.*

10. Petrova O. Investigation of real-time systems reliability characteristics / O. Petrova, G. Tabunshchuk // *Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: VIII Міжнародна науково-практична конференція, Запоріжжя, 21–23 вересня 2016 р, тези доповідей.* – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – С. 277-278; **внесок автора:** дослідження параметрів надійності систем реального часу.

11. Петрова О. А. Надежность систем навигации внутри помещения / О. А. Петрова , Г. В. Табунщик // *IX Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» Запоріжжя, 2018 р, тези доповідей.* – Запоріжжя: ЗНТУ, 03-05 жовтня 2018. – С. 141-143. **внесок автора:** розроблення інформаційної технології оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення.

12. Tabunshchuk G. Multipurpose Educational System based on Raspberry Pi / G. Tabunshchuk, D. Van Merode , O.Petrova, V. Okhmak // *Proceedings of the International Symposium on Embedded Systems and Trends in Teaching Engineering, Nitra, Slovakia, 12-15 September 2016: proceedings.* – Nitra, 2016. – P. 202-206; **внесок автора:** розроблення моделі діагностики систем з обмеженими ресурсами; **база(и):** *IEEE.*

13. Петрова О. А. Установка для испытания снаряжения для защиты от падения на базе микропроцессора Arduino / О. А. Петрова, Р. А. Фролов, Г. В. Табунщик, М. В. Сидоренко // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: XII Международная научная конференция (ISDMCI'2016). – Железный Порт, 22–26 мая 2017: тезисы доклада. – Железный Порт, 2016. – С. 144-145; **внесок автора:** дослідження характеристик акселерометра з використанням Labview; **база (и):** *Web of Science*.

14. Petrova O. Implementation of Audio Navigation for Smart Campus/ O. Petrova, G.Tabunshchuk, P.Arras //Proceedings of the Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019), Zaporizhzhia, Ukraine, April 15-19, 2019. С. 267-276; **внесок автора:** розроблення методу голосової навігації; **база (и):** *Web of Science, SCOPUS, IEEE, DBLP*