

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

ПЕТРОВА ОЛЬГА АНАТОЛІЇВНА



УДК 004.052

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

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Миколаїв – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Запорізька політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник

кандидат технічних наук, доцент
Табунщик Галина Володимирівна,
Національний університет «Запорізька
політехніка», професор кафедри програмних
засобів

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Коваленко Ігор Іванович
Чорноморський національний університет імені
Петра Могили, м. Миколаїв, професор кафедри
інженерії програмного забезпечення

доктор технічних наук, професор
Філатов Валентин Олександрович
Харківський національний університет
радіоелектроніки, завідувач кафедри штучного
інтелекту

Захист відбудеться **28 лютого 2020 р. о 12⁰⁰** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.053.05 в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10 та за електронною адресою: <https://chmnu.edu.ua/disertatsiyi/>.

Автореферат розісланий 27 січня 2020 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Є. О. Давиденко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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., Демпстера Е. Г., Гапанюка Ю. Е., Благодатських В. А., Полонікова Р. І., Хетча С.

Завдання верифікації систем позиціонування та навігації розглядалися в роботах: Харченка В. С., Бінгао Лі, Гаврилова А. В., Маєвського Д. А.

Завдання порівняння і вибору технологій розглядалися в роботах: Різоса К., Маутца Р., Щекотова М. С.

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.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі програмних засобів Запорізького національного технічного університету (ЗНТУ) за пріоритетним напрямком

«Перспективні засоби переробки інформації та кібернетичні системи», затвердженим указом Міністерства освіти і науки України № 535 від 07.06.2011, 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».

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 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 отриманих результатів полягає в наступному:

1. *Вперше* розроблено метод верифікації СПНВП на основі нейронних мереж Кохонена та нечіткої логіки, який, на відміну від існуючих, дозволяє вибирати набір вирішальних правил, перебудовувати структуру при донаванні, 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.

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 підтверджені 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: [1] – розроблення інтегрованого методу визначення поточного положення; [2] – розроблення методу визначення заданого розташування з використанням голосових команд; [3] – розроблення методу оцінювання надійності СПНВП; [6, 10, 11] – розроблення інформаційної технології оцінювання надійності СПНВП; [4, 7] – розроблення методу визначення місцезнаходження для внутрішніх навігаційних систем; [5, 9] – розроблення нейро-нечіткого методу; [8, 14] – розроблення методу голосової навігації; [12] – розроблення моделі діагностики систем з обмеженими ресурсами; [13] – дослідження характеристик акселерометра з використанням Labview.

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).

Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків та списку літературних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми та сформульовано мету і задачі дослідження, наведено наукову новизну та практичну цінність даної роботи. Надано структуру роботи, відомості про публікації, апробацію та впровадження результатів роботи.

У першому розділі було:

1. Проведено аналіз засобів та методів забезпечення надійності СПНВП, який дозволив виділити основні параметри надійності для подальшої модифікації. Проведено аналіз засобів та архітектури побудови СПНВП, який показав, що основною проблемою є одночасна локалізація і складання карти. Проаналізовано системи позиціонування та навігації всередині приміщення на основі різних технологій, таких як: Wi-Fi, Bluetooth, RFID, мобільні мережі. На основі проведеного аналізу для подальшої роботи було обрано технологію на основі BLE 4.0. Було проведено класифікацію та аналіз параметрів надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення за наступними характеристиками: параметри безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, зберігання.

2. Після аналізу методів оцінювання надійності СПНВП зроблено висновок, що однією з основних проблем, які необхідно вирішити при створенні систем реального часу, є забезпечення їх якості. Для забезпечення параметрів надійності таких як параметри безвідмовності та зберігання будемо використовувати верифікацію систем.

3. 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 виділений найоптимальніший за часом та витратою пам'яті – пошук точки стрибка (jump point search – JPS).

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

5. Проведено аналіз існуючих програмних комплексів для оцінювання надійності та виділені їх недоліки.

Враховуючи вищеперераховане, поставлені завдання для подальшої роботи.

У другому розділі запропоновано 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%. Також запропоновано метод корегування маршруту, який на відміну від існуючих, використовує фільтр Калмана та метод стрибкових точок, що дозволяє проводити перевірку помилки карти з рівнем помилки до 4.7%.

Для визначення позиції в СПНВП з використанням технології BLE 4.0 необхідно розташувати в приміщенні Beacon-маячки так, щоб вони покривали всю площу і пов'язати їх з координатною сіткою на карті. Далі використовується призначений для користувача застосунок, який циклічно отримує дані і порівнює з базою даних та визначає координати. Для коректного визначення позиції в СПНВП розглянуто інтегрований метод визначення поточного положення на карті.

Висота маяка – координата z завжди більше ніж висота будь-якого об'єкта на полі, в тому числі користувача. Крім того, різниця висот між випромінювачем і приймачем набагато менше, ніж відстань між маяками, це дозволяє поєднати систему відліку в площину електронної плати маяка і прирівняти її до 0. Таким чином, $z_i=0, i=1,2,3$. Далі розглянуто місце положення в двох площинах X і Y . Точки будуть позначатися x_i, y_i , де $i=0,1 \dots n$. Також маячки з заданою періодичністю посилають сукупність сигналів RSSI (Received Signal Strength Indication), які можна ідентифікувати.

Для визначення поточного положення за сигналом RSSI необхідно спочатку визначити середнє значення RSSI кожного iBeacon маячка. Для цього їх необхідно налаштувати на видачу інформації з максимальною частотою, потім з певною періодичністю накопичувати її в буфері, і на основі накоплених даних визначається середнє значення. Тому за допомогою значень RSSI розраховуємо x_1, y_1 .

Оскільки, розрахунки необхідно провести в двовимірному просторі, а відстань до маячків y – в тривимірному, відповідно, якщо різниця по осі Z між спостерігачем і маячками відчутна, потрібно будувати проєкції на осі X, Y . Значення x_2, y_2 розраховуються за трьома точками.

Далі необхідно завантажити карту приміщення і та визначити теоретичний маршрут, який представлений у вигляді масиву $[X_B, Y_B]$, де $X_B = \{x_1, x_2 \dots x_i\}$, $Y_B = \{y_1, y_2 \dots y_i\}$, $i = 1,2 \dots n$. Використовуючи данні з акселерометра та рівняння координат, розраховується положення x_3, y_3 .

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:

$$\Delta_{RSSI} = 20 \lg \frac{\lambda}{4\pi d_{RSSI}}, \quad (1)$$

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

Для відновлення координат в реальному часі можна використовувати фільтр Калмана. 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. Тому необхідно провести апроксимацію маршруту з використанням фільтра Калмана. Отримуємо координати x_4 , y_4 .

Далі проводиться порівняння розрахованого, теоретичного і апроксимованого маршруту. Для відображення положення на карті:

1) визначається середнє значення координат:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^1 x_i, \quad (2)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^1 y_i, \quad (3)$$

2) порівнюються отримані результати з X_B , Y_B ;

3) визначаються найближчі до базових точки і наносяться на карту.

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

Голосовий навігатор повинен допомогти людині орієнтуватися в будівлі, використовуючи тільки голос. Однак для коректного обміну інформацією між користувачем і застосунком повинен бути розроблений модуль, який може розпізнавати мовні сигнали. Для ідентифікації поточного місця розташування S є вхідний параметр $x_{гол}$.

Голосове повідомлення $x_{гол}$ починається одним 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 використовується прихована марківська модель, тобто статистична модель з невідомими параметрами. Основним завданням якої є визначення невідомих параметрів на основі спостережуваних.

Завданням розпізнавання є зіставлення набору акустичних ознак мовного сигналу або спостережень $x_{гол} = \{o_{гол1}, o_{гол2}, \dots, o_{голA}\}$, послідовності слів $W = (w_1, \dots, w_k)$, що мають найбільшу імовірність правдоподібності серед всіх претендентів:

$$W = \underset{W}{\operatorname{argmax}} P(W|x_{\text{гол}}), \quad (4)$$

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

Використовуючи теорему Байєса:

$$W = \underset{W}{\operatorname{argmax}} P(W)P(x_{\text{гол}}|W), \quad (5)$$

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.

Далі визначається певна аудіо подія 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.

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 наступними параметрами: розподіл імовірностей символів у спостережуваній послідовності, розподіл імовірностей початкового стану.

Розподіл імовірностей символів в спостережуваній послідовності:

$$U = \{ \varphi_i(o_{\text{гол}i}) \} \quad (6)$$

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; 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:

$$\beta_t(i) = \max_{l_1 l_2 \dots l_{t-1}} P(l_1 l_2 \dots l_{t-1} l_t = l_i, o_{\text{гол}1}, o_{\text{гол}2}, \dots, o_{\text{гол}t} | \lambda) \quad (7)$$

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

На території будівлі прикріплені маяки BLE 4.0. На кожному з них записані ключові фрази відповідно до їх розташування. 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 співпадінь в підмножинах F_i та G_j представляємо матрицею відносин $A^F = \{a_{ij}^F\}$ при :

$$a_{ij}^F = \frac{\alpha}{\min(|F_i|, |G_j|)} \quad (8)$$

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

Для введення нечіткості визначаємо 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 є збіжними з картою M на N то отримуємо координати необхідного маяка. Тоді буде справедливий запис:

$$\text{IF } Prav = \text{"співпадає"} \text{ THEN } M=X_i \text{ AND } N=Y_i \quad (9)$$

Отримано маяк, який необхідно порівняти з базою маяків для отримання координат. Далі команди будуть зіставлені з вихідними даними, які включають: розклад, групові списки, розміщення і карти будівлі і кожного поверху, список аудиторій. Наступним кроком є визначення поточного положення на карті кімнати за допомогою вбудованого методу. Після чого, дані потребують верифікації. Для цього поставлено завдання розробити нейро-нечіткий метод верифікації.

На основі проведених досліджень було отримано інтегрований метод визначення поточного положення. Використання даного методу дозволяє підвищити точність в СПНВП і знизити похибку на 3%.

Третій розділ присвячений розробленню методу верифікації для систем позиціонування і навігації всередині приміщення та модифікації архітектури СПНВП блоком верифікації.

Для верифікації необхідно спочатку визначити терми. Необхідно визначити рівень помилок картування термами: без помилок, працює з помилками, не допустима кількість помилок.

Також вхідні дані можуть бути і у вигляді лінгвістичних змінних, наприклад, голосові команди можуть приймати значення: «вліво», «вправо», «прямо». Однак, 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. Для проведення верифікації системи змінними розглянуто нейро-нечіткі мережі.

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

Алгоритм верифікації системи за допомогою нейро-нечіткого методу має вигляд:

- 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.

Для вирішення завдання обрано підхід типу Мамдані. Спочатку необхідно ввести 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, «не допустима кількість помилок»).

На вхід подається кортеж величин:

$$D_j(t_i) = \{L_1(t_i), L_2(t_i), \dots, L_j(t_i)\}, \quad (10)$$

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

На виході формується числове значення похибки 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 $m_{mam}(t_i) = \mu_{bed}(u)$.

Після проведення фазифікації, розрахунку прихованого шару та дефазифікації необхідно провести навчання. Мережа 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. На завершальному етапі навчання проводиться підстроювання всіх змінних параметрів (параметрів функцій належності). Для цього використано алгоритм нормалізованих найменших квадратів.

Необхідно обчислити похибку поточного положення:

$$\varphi = \frac{1}{2} \sum_1^{Raz} (m_{mam_k} - \overline{m_{mam_k}})^2 \quad (11)$$

Після проведення верифікації модифіковано базову систему, що використовує для ідентифікації поточного положення дані від маячків на основі BLE 4.0, новим показником:

$$S_{sys} = \langle X, B, H, Z, K, \varphi \rangle, \quad (12)$$

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_m – телефон), K – режим роботи (k_a – автономний, k_k – керований), φ – похибка поточного положення.

Для підтвердження результату проведено симуляцію розробленого методу. Для симуляції використано програмно-апаратний комплекс LabView

Після побудови і навчання нейро-нечіткої мережі на виході отримано помилку поточного положення, порівнявши отримане значення і контрольне. В наведеному прикладі вона становить від 0.47% до 0.7%.

Таким чином, розроблено метод верифікації СПНВП на основі нейронних мереж Кохонена та нечіткої логіки, який, на відміну від існуючих, дозволяє вибирати набір вирішальних правил, перебудовувати структуру при донавчанні, використовувати лінгвістичні правила.

Четвертий розділ присвячений апробації інформаційної технології оцінювання надійності СПНВП.

Для розроблення інформаційної технології (ІТ) оцінювання надійності СПНВП з використанням бездротових систем передачі даних та методів верифікації вбудованих систем, була розроблена структура (рис. 1).



Рис. 1. Структура ІТОН СПНВП

Для роботи інформаційної технології необхідно отримати вхідні дані. Так як необхідні дані отримуються з датчиків, голосових повідомлень, картографічного представлення, то необхідно їх привести до спільного формату. Для цього використано формат XML. Для перетворення розглянута наступна схема:

$$XSD = \langle J, L, A, W \rangle \quad (13)$$

де J – множина вхідних даних різного формату; L – упорядковані пари з J ; A – множина атрибутів; W – упорядковані пари з J та A .

Таким чином, ІТ формує дані для оцінювання надійності на основі даних, отриманих інтегрованим методом визначення поточного положення та нейро-нечітким методом верифікації.

Для визначення поточного розташування використано інтегрований метод визначення поточного положення. ІТ спочатку визначає:

- 1) поточний стан за RSSI та трьома точками;
- 2) теоретичний маршрут;
- 3) поточний стан за допомогою інерційної навігаційної системи;
- 4) розраховує похибку (1);
- 5) апроксимує маршрут з використанням фільтра Калмана;
- 6) порівняння теоретичного та апроксимованого маршруту;
- 7) визначення координат (2, 3).

В результаті виконання першого етапу отримано поточне положення користувача та XML файл з поточними координатами.

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

- 1) отримати повідомлення (4), обробити його та привести до спільного формату;
- 2) провести зіставлення набору акустичних ознак мовного сигналу (4, 5);
- 3) побудувати акустичну модель для розпізнавання мовлення;
- 4) розрахувати розподіл імовірностей символів (6-8);
- 5) використати алгоритм Вітербі для відновлення найбільш імовірнісної послідовності прихованих станів;
- 6) сформувати базу правил та розрахувати збіг з розташованими маяками (9);
- 7) отримати повідомлення у вигляді XML файлу на основі ключових слів.

Після визначення координат та оброблення голосових повідомлень ІТ будує маршрут. Для визначення маршруту ІТ використано 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 розміщені маяки з мітками відповідно до свого розташування.

На третьому етапі відбувається верифікація даних, які отримані на другому етапі.

Спочатку в ІТ введено лінгвістичні змінні та терми, потім визначено функції належності, розраховано відносно ступінь виконання та вклад кожного нечіткого правила. Для навчання вибрано чергове спостереження та розраховано значення найближчого вектора ваг в деякій метриці (VMU/Winner). Далі отримано початкове наближення бази знань та оптимізовано число правил. На завершальному етапі навчання проводиться підстроювання всіх змінних параметрів (параметрів функцій належності). Для цього використано алгоритм нормалізованих найменших квадратів.

Після побудови і навчання нейро-нечіткої мережі на виході отримано помилку поточного положення, порівнявши отримане значення і контрольне.

Отриманий результат заноситься до XML файлу з вже отриманими результатами. Далі можна розрахувати середню кількість помилок при визначенні поточного положення, 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 Харченка В. С., економічну ефективність.

Середня кількість помилок при визначенні поточного місця розташування:

$$err(t) = \frac{\sum_{j=1}^{Nbl} err_j(t)}{Nbl}, \quad (14)$$

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

Імовірність безвідмовної роботи:

$$P(t) = 1 - Q(t), \quad (15)$$

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 помилок err було витрачено час $t_1, t_2, \dots, t_j, \dots, t_{err}$, то середній час відновлення може бути знайдено як статистична оцінка:

$$t_{сер} = \frac{1}{err} \sum_{j=1}^{err} t_j, \quad (16)$$

де err – кількість помилок; t_j – час на відновлення.

Для розрахунку коефіцієнту готовності використаємо формулу:

$$K_{\Gamma} = \frac{t_{сум}}{t_{сум} + t_{пр}}, \quad (17)$$

де $t_{сум}$ – сума справної роботи; $t_{пр}$ – час вимушених простоїв.

Коефіцієнт технічного використання – відношення математичного сподівання сумарного часу перебування системи в працездатному стані за деякий період експлуатації до математичного очікування 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:

$$K_{\text{ТВ}} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{т.о}} + t_{\text{рем}}}, \quad (18)$$

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 за формулою:

$$K_{\text{ПВ}} = \frac{t_{\text{сум}} - t_{\text{т.о}} - t_{\text{рем}}}{t_{\text{сум}}}. \quad (19)$$

Згідно ДСТУ 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 розглянемо як математичне сподівання вимірювання поточного положення:

$$K_{\text{ЗБ}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{н}}}, \quad (20)$$

де $M_{\text{д}}$ – математичне сподівання визначення поточного положення згідно датчиків; $M_{\text{н}}$ – математичне очікування сподівання номінального значення.

Інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування навігації всередині приміщення представлена на рис. 2.

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. Таким чином, в роботі отримав подальший розвиток 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.

Оцінювання надійності системи представлена на рис. 3.

В рамках програми Smart-Campus була реалізована можливість відображення поточної позиції користувача всередині будівлі і пошук найкоротшого шляху до заданого маячка. Програмне забезпечення складається з CMS і мобільного застосунка Android. У CMS реалізована можливість створення схеми приміщення, яка буде використовуватися в подальшому для навігації.

Карти, що належать діапазону маяків, зберігаються і як зображення, і як масив $[M, N]$, що використовується для мобільного застосунка та для завдання виявлення маршрутів для навігації. Інтерфейс роботи з картою маяків зображений на рис.4.

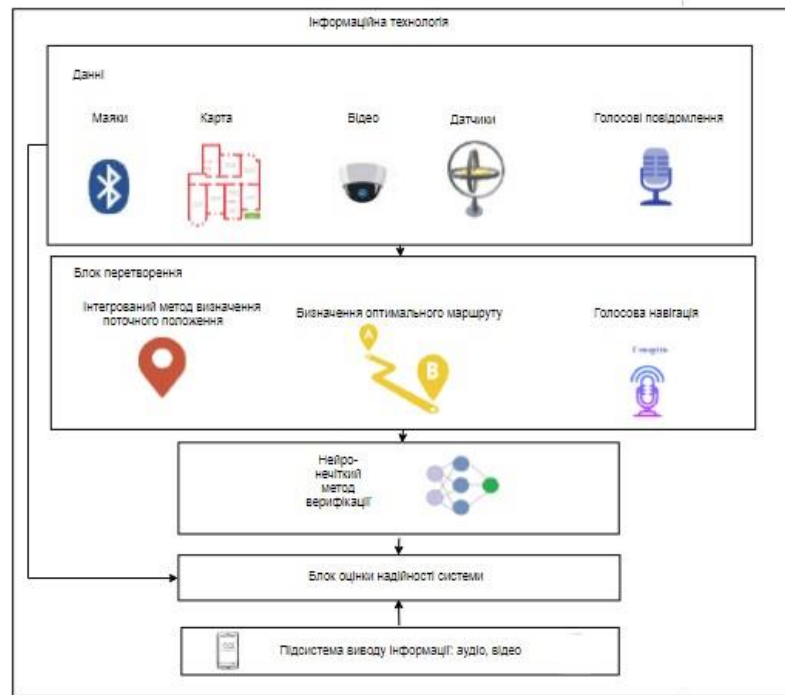


Рис. 2. Інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення

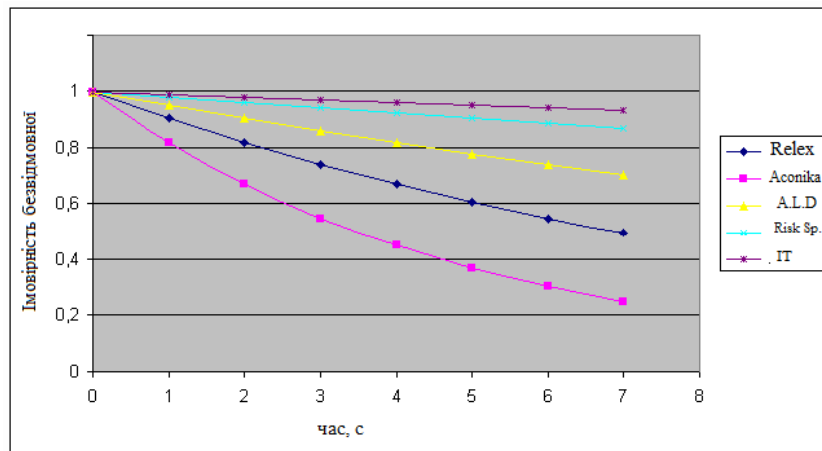


Рис. 3. Імовірність безвідмовної роботи СПНВП

Наступним кроком є розроблення та інтеграція підсистеми голосової навігації в Smart-Campus.

Робота з застосунком можна розділити на кілька етапів:

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

Крок 2. Розпізнавач мови приймає запис голосу і переводить його в текст.

Крок 3. Програма перевіряє, чи отримано вона достатньо інформації про аудиторію, якщо її недостатньо, необхідно зробити все спочатку. Якщо програма отримала інформацію та знаходить потрібну аудиторію, користувач почує голосове повідомлення про місцезнаходження аудиторії.

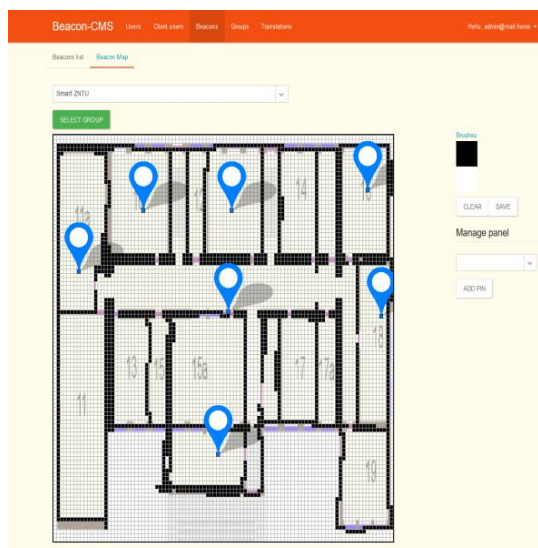


Рис. 4. Інтерфейс роботи з картою маячків

Крок 4. Необхідно отримати місце розташування користувача і координати необхідного маяка для побудови маршруту на карті.

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

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

Розроблене програмне забезпечення дозволяє користувачеві створювати і керувати своїм розкладом. Розклад буде відображатися за тиждень і поточний день.

ВИСНОВКИ

Основний науковий результат дисертації полягає у вирішенні науково-практичного завдання підвищення надійності СПНВП.

Проведені дослідження дозволили зробити наступні висновки.

1. Проведений аналіз методів оцінювання надійності СПНВП, що дозволило виділити наступні недоліки: в структурно-аналітичному методі виникають проблеми при аналізі складних систем; в логіко-графічному методі виникають труднощі 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 положення на карті приміщення, який заснований на аналізі сигналу від iBeacon і

акселерометра, використовує фільтр Калмана та дозволяє оперативню корегувати значення поточного положення, 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 оброблення голосових повідомлень. Впровадження голосового навігатора полегшить адаптацію людей з вадами зору до соціальних пілг. Розроблений навігатор інтегрований в мобільний додаток системи Smart-Campus, що забезпечує підтримку студентів, співробітників і відвідувачів університету.

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 апробована за допомогою програмно-апаратного комплексу LabView. 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 мережі на виході отримано помилку поточного положення, порівнявши отримане значення і контрольне. У наведеному 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 положення та методом нейро-нечіткої верифікації. Також інформаційна технологія дозволяє отримувати вхідні дані за допомогою: BLE 4.0, картографічного представлення, інерційної навігації та голосових повідомлень. Ґрунтуючись на даних про поточне положення та прогнозне значення функції надійності виконується верифікація поточного стану системи навігації всередині приміщення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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 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-нечеткої верифікації систем позиціонування и навігації 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*.

АНОТАЦІЯ

Петрова О. А. Інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації в середині 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 підвищенню надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення (СПНВП), за рахунок використання бездротових систем передачі даних та методів верифікації вбудованих систем.

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 положення, і дозволяє зменшити похибку. Розроблена модель верифікації з використанням нейронних мереж та нечіткої логіки. Модель представлена у вигляді багатошарової нейронної мережі, кожен шар якої відповідає за певний крок алгоритму непарного логічного висновку.

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

Отримав подальший розвиток 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.

В результаті проведених досліджень було розроблено інформаційну технологію оцінювання надійності СПНВП, яка формує дані для оцінювання метрик надійності на основі даних отриманих інтегрованим методом визначення поточного положення та методу нейро-нечіткої верифікації.

Ключові слова: iBeacon, пошуковий алгоритм, маршрут, картографічне представлення, системи навігації, верифікація, надійність, інформаційна технологія.

ABSTRACT

Petrova O. A. The information technology of assessment of the reliability of indoor navigation systems. – Manuscript.

The thesis for a Degree of Candidate of Science (Engineering) in specialty 05.13.06 – information technologies. – National University "Zaporizhia Polytechnic", 2020.

The dissertation is devoted to increase of reliability indoor navigation systems, due to the use of wireless data transmission systems and methods of verification of embedded systems.

The modified integrated method of determining the current position on the map of the buildings is based on the analysis of the signal from iBeacon and accelerometer, modified by the Kalman method, which allows to quickly adjust the value of the current position, and allows to reduce the error.

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%.

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.

For verification 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.

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.

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.

Keywords: iBeacon, search algorithm, route, cartographic representation, indoor navigation systems, verification, reliability, information technology.