

## ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Філатова Валентина Олександровича на дисертацію Петрової Ольги Анатоліївни

«Інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології

### **Актуальність теми дисертаційної роботи.**

В наш час все більшої популярності набувають технології позиціонування та навігації, які дозволяють орієнтуватися в великих приміщеннях та визначати поточне місце знаходження.

При використанні систем позиціонування та навігації всередині приміщення виникають проблеми точності визначення координат, швидкості обробки даних і визначення коректного маршруту. Точність визначення поточного місцезнаходження впливає на коректність роботи системи. Дані показники впливають на надійність даних систем. Тому виникає необхідність підвищення надійності шляхом розробки методів для оцінювання надійності.

Однак в більшості робіт присвяченим системам позиціонування та навігації всередині приміщення не розглянуті питання визначення поточного положення і верифікації системи з урахуванням особливостей вихідних даних навігаційних систем всередині приміщення.

Оскільки системи позиціонування навігації всередині приміщення - це системи реального часу, тому для врахування всіх особливостей систем виникає необхідність розроблення інформаційної технології оцінювання надійності систем позиціонування навігації всередині приміщення.

Зазначене вище визначає актуальність дисертаційної роботи, в якій представлено рішення для підвищення якості систем з обмеженими ресурсами, за рахунок використання розроблених методів.

### **Оцінка змісту і загального рівня роботи, міри вирішення наукової проблеми.**

Наукова проблема, яку вирішує авторка дисертаційної роботи полягає в підвищенні надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення (СПНВП) за рахунок використання бездротових систем передачі даних короткого діапазону для визначення поточного положення та методів верифікації вбудованих систем. В дисертаційній роботі представлено вирішення даної задачі у вигляді інформаційної технології, яка поєднує в собі 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) 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» (ДР № 0115U002242), «Дослідження особливостей розробки та використання дистанційно керованих систем» (ДР № 0115U004677), «Інформаційна система діагностування розподілених мінікомп'ютерних систем в багатокомпонентному зовнішньому середовищі» (ДР № 0117U000615), «Дослідження особливостей інтерфейсів взаємодії для кіберфізичних систем» (ДР № 0118U100064), «Інтелектуальні методи діагностування систем керування віддаленими технічними об'єктами», (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».

### **Наукова новизна отриманих результатів:**

*вперше:*

- розроблено метод верифікації систем позиціонування та навігації всередині приміщенням на основі нейронних мереж Кохонена та нечіткої логіки, який, на відміну від існуючих, дозволяє вибирати набір вирішальних правил, перебудовувати структуру при донавченні, використовувати лінгвістичні правила;

- 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 значно зменшити похибку визначення поточного положення;

*удосконалено:*

- модель системи позиціонування та навігації всередині приміщенням за рахунок методу голосової навігації, який на відміну від існуючих, дозволяє використовувати голосові команди та нечіткі правила для знаходження заданого розташування;

*отримав подальшого розвитку:*

- метод корегування маршруту, який на відміну від існуючих, використовує фільтр Калмана та метод стрибкових точок, що дозволяє

проводити перевірку похибки карти зізначно зменшеним рівнем помилки позиціонування та навігації всередині приміщення;

– метод оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщенням за рахунок використання інтегрованого методу визначення поточного положення та методу нейро-нечіткої верифікації, що дозволяє провести оцінювання імовірності безвідмової роботи систем позиціонування та навігації всередині приміщенням.

### **Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Наведені в роботі наукові положення (модель верифікації СПНВП на основі нейронних мереж та нечіткої логіки, інтегрований метод визначення поточного положення на карті приміщення, метод корегування маршруту, метод голосової навігації, метод оцінювання надійності СПНВП) підверджені результатами практичного впровадження та експериментів, які проводилися у національному університеті «Запорізька політехніка» та на ТОВ «Інфоком ЛТД».

### **Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Розроблені методи та моделі оцінювання надійності СПНВП дозволяють:

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

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

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

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

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

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

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

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота Петрової О.А. складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літературних джерел з 117 найменувань та додатків. Загальний обсяг становить 167 сторінок (з них 112 – основного тексту). У роботу входять також 54 рисунки і 8 таблиць.

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 проведений аналіз систем позиціонування та навігації всередині приміщення на основі різних технологій та виділені основні їх недоліки. Проведено класифікацію та аналіз параметрів надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення: параметри безвідмовності, довговічності, ремонтопридатності, зберігання.

Після аналізу методів оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення 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 в роботі запропоновано використати технологію 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 обрано найоптимальніший за часом та витратою пам'яті – пошук точки стрибка (JPS). Для оброблення даних та прибирання шуму і зайвої інформації обрано фільтр Калмана, проведено аналіз існуючих програмних комплексів для оцінювання надійності та виділені їх недоліки.

У другому розділі розглянуто способи отримання даних про поточне положення з використанням різних способів: за сигналом RSSI, за трьома точками та показниками акселерометра та гіроскопа.

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%.

Авторкою розроблена акустична модель, яка може розпізнавати мовні сигнали, 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%.

У третьому розділі побудована нейро-нечітка модель, яка представлена у вигляді багатошарової 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.

У дисертаційній роботі виділені критерії верифікації системи: метрика евклідових просторів, метрика простору Мінковського, 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 донавченні, використовувати лінгвістичні правила.

Нейро-нечіткий метод досліджено за допомогою програмно-апаратного комплексу LabView. Для формування вхідних даних застосовано інтегрований метод визначення поточного положення. Для порівняння результатів проведено експеримент, який складався 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 тестовому прикладі вона становить від 0,47% до 0,7%.

У четвертому розділі розроблено інформаційну технологію, яка дозволяє отримувати вхідні дані за допомогою: BLE 4.0, картографічного представлення, відео, інерційної навігації та голосових повідомлень.

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.

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

### **Зауваження до дисертації.**

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1 У дисертаційній роботі недостатньо повно розглянуто існуючі методи визначення достовірності поточного положення систем позиціонування та навігації всередині приміщення.

2 Постановочна частина дисертації не містить порівняльні характеристики існуючих сучасних методів оцінювання надійності, що підвищило б ступінь обґрутованості зроблених авторкою висновків щодо необхідності удосконалення ісуючих та створення нових методів для підвищення надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення.

3 Метод оцінювання координат в реальному часі на основі фільтра Калмана, який надається у якості наукової новизні, детально наведено у першому розділі дисертаційної роботі, до постановки задач дослідження.

4 При обґрунтуванні алгоритму верифікації системи за допомогою нейро-нечіткої моделі авторка помилково використовує функції належності типу «кластер» (стор. 76).

5 У виразі 1.13 (стор. 49) авторкою наведено модель розрахунку прогнозного стану системи на основі фільтру Калмана, проте не наведено спосіб отримання коваріаційної матриці шумів. Для такого випадку часто використовується спостерігач Лютенберга, але як альтернативний такий похід не запропоновано.

6 Авторка в тексті роботи застосовує занадто багато абревіатур, що ускладнює сприйняття інформації, також мають місце стилістичні та орфографічні помилки, наприклад: «метрика Маньківського» стор. 74 замість «метрика Мінковського», «фазицікація» стор. 79 замість фазифікація.

7 Недоліком роботи є відсутність патентів, оскільки істотна частина результатів дисертації могла бути запатентована.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

### **Загальні висновки**

Дисертаційна робота Петрової О.А. «Інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині

☒

приміщення» є завершеним науковим дослідженням, що виконана на високому науковому рівні, в якій отримано нові науково обґрунтовані та апробовані результати.

Робота відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології. За актуальністю розглянутих задач, обсягом досліджень, науковим рівнем і практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота повністю відповідає вимогам пп. 9, 11-13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013р. № 567, до кандидатських дисертацій.

Здобувач Петрова Ольга Анатоліївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Офіційний опонент  
доктор технічних наук, професор, завідувач  
кафедри штучного інтелекту Харківського  
національного університету радіоелектроніки

«6» 02 2020 р.

В.О. Філатов

Підпис В.О. Філатов засвідчує:

Учений секретар  
Харківського національного університету  
радіоелектроніки

«06» 02 2020 р.



I.B. Magdalina