

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Броннікова Артема Ігоровича

«МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ АДАПТИВНОГО ВІЗУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТАМИ»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»

Актуальність теми

Загальним трендом розвитку сучасної світової економіки та промисловості є намагання більш широкого впровадження комплексної автоматизації максимальної кількості можливих операцій за рахунок використанні інтелектуальних засобів автоматизації, зокрема на основі концепції Industry 4.0. Саме такі заходи б дозволили мінімізувати участь людей-працівників у виробничих процесах для збільшення загальної ефективності (KPI), зменшення імовірності можливих аварійних ситуацій внаслідок похибок, що виникають завдяки впливу "людського фактору". Так, за оцінками консалтингової компанії Roland Berger (Німеччина), економіка ЄС може в найближчі роки (до 2030р.) отримати потенційний прибуток у 1,25 трильйонів євро у разі масового впровадження автоматизованих «розумних виробництв» (Smart Factory), інтернету речей (IoT), кіберфізичних систем, робототехніки та інших перспективних технологій у межах вимог 4-ї промислової революції. Отже, можемо стверджувати, що дисертація, яка присвячена моделям та методам адаптивного візуального керування роботами в умовах гнучких автоматизованих виробництв, є узгодженою із загальним трендом розвитку сучасної світової індустрії. Це свідчить про актуальність теми дисертації для економіки України та для розвитку спеціальності 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування».

Проблема управління робото-технічними системами досліджується у світі вже понад півстоліття, і за цей час провідними науковцями одержані досить вагомні результати. Разом з тим слід констатувати, що сучасний стан цієї проблеми не дозволяє забезпечувати досить високу ступінь інтеграції та надійність автоматизації управління робото-технічними системами (РТС), зокрема устаткування транспортно-допоміжного призначення. Необхідність іноді досить широкого втручання людини-оператора та існуючі



недосконалості засобів автоматизації істотно обмежують ефективність розповсюджених зараз сучасних виробничо-транспортних робото-технічних систем. Дійсно, більшість існуючих сучасних систем промислового роботизованого транспортування істотно зв'язані із інфраструктурою підприємства, наприклад рельсовими напрямними та маркерами, у тому числі для забезпечення надійного та безпечного позиціонування у складному насиченому виробничому просторі. Це значно обмежує гнучкість виробництв, оскільки зміна логістики підприємства відповідно вимогам виробництва іншої номенклатури продукції вимагатиме досить оперативного оновлення більшості допоміжної транспортної інфраструктури. Останнє є головним обмежуючим гнучкість фактором за умов наявності досить досконалого сучасного гнучкого верстатного устаткування. Основною ідеєю дисертаційної роботи є забезпечення гнучкості промислового роботизованого транспортування за рахунок використання інтелектуальних систем позиціонування у просторі складного насиченого промислового середовища за рахунок удосконалених наукових підходів для розпізнавання відповідних образів. Реалізація такого шляху вимагає подальшого розвитку математичних моделей управління роботизованими транспортними системами та методів обробки візуальної інформації. З урахуванням цього в дисертації вирішуються відповідні завдання, що є актуальними для розвитку спеціальності 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування».

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій та достовірність одержаних результатів

Завдяки коректному використанню відомих науково обґрунтованих положень теорії множин, теорії автоматичного керування, теорії нечітких множин, а також методів обробки зображень та розробки програмного забезпечення наукові положення дисертації та одержані в ній результати і сформульовані висновки та рекомендації є цілком обґрунтованими. Достовірність одержаних результатів обґрунтовано узгодженістю результатів імітаційного моделювання процесів управління та обробки зображень за допомогою спеціально створеного та належним чином протестованого програмного забезпечення із відомими даними та результатами спеціально проведених експериментів; наявні впровадження результатів дисертації також додатково підтверджують їхню достовірність.

Наукова новизна результатів

Виконані в дисертації теоретичні та експериментальні дослідження та імітаційне моделювання дозволили розв'язати окремі досить важливі завдання автоматизації управління робото-технічними системами. До нових наукових результатів слід віднести наступне:

– вперше запропоновано зв'язані інформаційно-логічну та функціональну моделі робочого простору, що відображає об'єкти гнучких інтегрованих виробничих систем, необхідні для забезпечення інтелектуального управління роботами у складному насиченому промисловому середовищі, і яка, на відміну від існуючих, враховує заповнення виробничого робочого простору та визначає і враховує властивості об'єктів, що розміщуються в робочому просторі, враховує взаємодію, упорядкованість та сумісність об'єктів, враховує особливості технологічних операцій, містить детальний опис властивостей об'єктів та їх взаємодії, включає можливість кількісної оцінки вартості та якості робіт;

– удосконалено метод адаптивного візуального управління, що описує сукупність прийомів та операцій, які слід застосувати у інтелектуальних системах управління роботів для планування рухів на основі отримання візуальної інформації від систем технічного зору, який на відміну від існуючих, орієнтований на використання в мобільних робото-технічних системах;

– отримала подальший розвиток модель управління мобільним двоколісним роботом у просторі гнучких інтегрованих виробничих систем, що на відміну від існуючих, функціонує на основі одержаної інформації від об'єктових локальних систем технічного (комп'ютерного) зору та виконує функції розпізнавання та ідентифікації об'єктів гнучких інтегрованих виробничих систем, забезпечує розрахунок координат та швидкостей роботизованої платформи та інших оточуючих ГІВС, розрахунок траєкторій та їхнє подання у вигляді послідовностей переміщень, забезпечує організацію управління транспортувальними роботами за їх поточним положенням; містить нечітку складову з розгорнутим описом процедур формування лінгвістичних змінних, пов'язаних з динамікою руху мобільної роботизованої платформи та формалізує набір продукційних правил нечіткого регулятора.

Практична цінність результатів

Запропонована в дисертації інформаційно-логічна модель робочого простору, функціональна модель взаємодії об'єктів, метод адаптивного візуального керування впроваджені у наукову діяльність у ННЦ "Інститут судових експертиз ім. засл. проф. М.С. Бокаріуса", що підтверджується відповідним актом. Розроблене інформаційне та програмне забезпечення щодо адаптивної візуальної системи управління мобільним транспортувальним роботом, яке реалізує запропоновані в дисертації моделі і методи дозволяє розв'язувати важливі практичні інженерні задачі. Зазначені розробки використані в дослідженнях та проектних роботах, що виконуються на ДП "Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування" (м. Харків), АТ "Хартрон" (м. Харків), ПАТ "ФЕД" (м. Харків), ПАВ "Вертикаль" (м. Харків), ТОВ "Укрінтех" (м. Харків). Крім того запропоновані методики можуть бути запропоновані для інших організацій та підприємств, що вирішують проблеми створення гнучких інтегрованих систем, автоматизованих та роботизованих пристроїв різного призначення. Результати розробок і досліджень впроваджені також у освітній процес в Харківському національному університеті радіоелектроніки (ХНУРЕ) на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ) за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» при викладанні дисциплін "Комп'ютерні системи керування рухомими об'єктами" та "Автоматизовані системи керування роботизованим виробництвом", що підтверджено відповідним актом.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих наукових працях

За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 38 наукових праць, з них 19 статей, у тому числі – 1 стаття у науковому фаховому виданні у Турецькій республіці (входить у Організацію економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР)); 16 статей у наукових фахових виданнях України з технічних наук; 2 статті у наукових виданнях інших держав; 19 тез доповідей, що опубліковані в матеріалах міжнародних наукових конференцій, з яких 2 включено до наукометричної бази даних Scopus.

Основні результати дисертації представлені у наявних наукових публікаціях.

Оцінка оформлення, змісту і завершеності дисертації

Оформлення тексту та структура тексту дисертації відповідає основним вимогам: дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, що містять основні результати роботи, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 222 сторінки, що включає 180 сторінок основного тексту, 77 рисунків (з них 60 рисунків займають площу на 30 сторінках), 6 таблиць, список використаних джерел зі 107 найменувань (на 13 сторінках) та 3 додатки (на 27 сторінках).

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи, які використовувалися при вирішенні завдань досліджень. Викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також наведено відомості щодо впровадження результатів роботи, апробацію, особистий внесок здобувача та публікації за темою дисертації.

Перший розділ містить критичний огляд сучасного стану інтелектуального керування виробництвом, зокрема методів інтелектуального керування та навігації мобільними роботами, що виконують транспортувальні операції. Аналіз сучасного стану показав, що на цей час на багатьох виробництвах для транспортувальних операцій ще й досі використовують ручну працю, що зменшує загальну ефективність. Відзначено, що набувають поширення мобільні роботи або транспортувальні засоби, що працюють на основі інформації з сенсорної системи штучного зору та інтелектуальної системи керування; найбільш поширеними навігаційними системами для цих засобів є: лазерна, магнітна, природня, магнітна точкова, дротова, оптична навігації та навігація за допомогою технічного зору. За результатами аналізу навігаційних систем з'ясовано, що для сучасного одиничного, дрібносерійного або серійного виробництва за умов гнучкості для навігації краще використовувати саме системи комп'ютерного зору, завдяки легкості їх інтеграції та здатності до швидкого переналаджування. Отже, актуальним завданням сучасних гнучких інтегрованих систем залишається забезпечення виконання виробничих функцій, спрямованих на підвищення ефективності виробництва за рахунок безперервності функціонування всієї системи. Істотним недоліком є відсутність можливостей систем керування адаптуватися до змін робочого

простору, що можуть відбуватись внаслідок динаміки виконання виробничих завдань, впливу людських факторів, потреб змін технології виробництва, виникнення різного роду нештатних ситуацій тощо. Адаптивне візуальне керування є перспективним напрямком, що може бути використаним для керування мобільними роботами, що виконують транспортувальні операції та промисловими роботами для виконання маніпуляцій. Головною перевагою таких систем є її гнучкість, що полягає у високій пристосованості та здатності до швидкого переналагодження виробничих ділянок.

У другому розділі дисертації наведено запропоновану інформаційно-логічну модель робочого простору, що відображає об'єкти гнучких інтегрованих виробничих систем. Це необхідно для реалізації інтелектуального управління роботами та забезпечення стійкого зв'язку між об'єктами. Також розроблено функціональну модель гнучких інтегрованих виробничих систем, яка забезпечує опис взаємодії об'єктів на рівні виконання виробничих, транспортувальних, сервісних, моніторингових, управлінських та інших завдань. Для розв'язання завдань відображення зв'язків між об'єктами гнучких інтегрованих виробничих систем, врахування дискретності та насиченості виробничого робочого простору, визначення та врахування властивостей об'єктів, їх взаємодії, упорядкованості та сумісності розроблено відповідну інформаційно-логічну модель робочого простору.

У третьому розділі представлено вдосконалений метод адаптивного візуального управління та отримала подальший розвиток модель керування мобільним роботом у просторі гнучких інтегрованих виробничих систем. Функціонування методу адаптивного візуального керування підтримується розробкою моделі розпізнавання та ідентифікації об'єктів, в тому числі на основі нечіткого опису параметрів керування. Також отримала подальший розвиток модель розпізнавання та ідентифікації об'єктів гнучких інтегрованих виробничих систем за допомогою методів комп'ютерного зору. Крім того отримала подальший розвиток модель керування мобільним роботом у просторі гнучкої інтегрованої системи на основі інформації глобальної системи комп'ютерного зору. Автор довів, що побудова такої моделі керування мобільним роботом має виходити з наявності технічних особливостей конструкції шасі мобільного роботу, наявності сенсорної системи певного рівня, здатності виконувати маніпуляції з об'єктами

робочого простору. Оскільки передбачається, що ключовим елементом сенсорної системи має бути система комп'ютерного зору, запропонована модель має зворотні зв'язки, що забезпечуються на основі отримання візуальної інформації. Метод адаптивного візуального керування, удосконалений у третьому розділі, застосований для розв'язання завдання автоматичного переміщення мобільної платформи або маніпулятора на основі отримання зорової інформації від систем комп'ютерного зору. Удосконалений метод може використовуватись як засіб постановки завдання мобільним транспортувальним роботом для виконання транспортувальних операцій у робочому просторі гнучких інтегрованих виробничих систем та автоматизованих складів; промисловими роботами – для виконання маніпуляцій з об'єктами пов'язаних з завантаженням/розвантаженням технологічного обладнання та його обслуговуванням, а також у інших сферах, наприклад, візуальні цілевказівки для наземних та повітряних дронів, системах автоматичного паркування транспортувальних засобів. В якості алгоритму для нечіткого регулятора використано алгоритм Мамдані, який передбачає створення правил нечіткого виведення; формування бази, що зберігає правила нечіткого виводу; фазифікацію вхідних змінних; об'єднання умов у нечітких правилах; створення рішень для цих нечітких правил; об'єднання рішень з множини нечітких правил; дефазифікацію вихідних змінних.

У четвертому розділі виконано моделювання запропонованих моделей і методу в середовищі GNU Octave. На основі отриманих швидкостей, із врахуванням початкових значень за допомогою ПД-регулятора, визначаються круті моменти для можливості переміщення робота у дискретному робочому просторі. На основі цієї моделі забезпечено моделювання нечітких правил. Результати проведеного моделювання демонструють наявність залежності між вхідними (траєкторія переміщення та кут повороту) і вихідними параметрами (швидкості коліс робота), що може бути використане при нечіткому адаптивному керуванні мобільними транспортувальними роботами.

У п'ятому розділі наведено реалізацію програмного забезпечення для адаптивного візуального керування роботами. Розроблене програмне забезпечення практично реалізує запропоновану інформаційно-логічну

модель і модель розпізнавання та ідентифікації об'єктів у робочому просторі мобільного робота. Тестування розробленого програмного забезпечення для адаптивного візуального керування мобільними роботами проводилось для платформ Lego NXT Mindstorms, FESTO Robotino 2.0, Arduino-роботів. Візуальні цілевказівки проводилось у вікні програмного інтерфейсу системи керування на спостережуваному зображенні РП. Окремими функціями розробленого програмного забезпечення є робота з багатозоновими робочими просторами. Об'єднання зображень проводилось з використанням алгоритмів SIFT та SURF. Розроблене інформаційне, алгоритмічне та програмне забезпечення тестувалося у лабораторних умовах кафедри КІТАМ ХНУРЕ. Результати тестування підтверджують доцільність розробки інформаційно-логічної моделі робочого простору мобільного робота, функціональної моделі, моделі розпізнавання та ідентифікації об'єктів робочого простору, методу адаптивного візуального управління роботами і підвищення швидкості введення координат мобільних роботизованих платформ до 25%.

У додатках наведено список публікацій за темою дисертації; код програми, що реалізує запропоновані моделі та метод адаптивного візуального керування мобільними роботами; акти про впровадження результатів дисертаційної роботи.

Зміст автореферату відповідає та достатньо повно відображає основні положення та результати дисертації.

Зауваження до дисертації

До дисертації є зауваження:

1. Тема дисертації охоплює досить широкий клас технічних систем – усі роботи, що не відповідає цілком фактичному змісту дисертації, основні результати якої одержані для наземних мобільних роботів, хоча окремі результати щодо обробки зображень дійсно можна використовувати для повітряних роботів (дронів).

2. При обґрунтуванні актуальності в авторефераті та дисертації автором не зазначено жодного чисельного показника у підтвердження цього. Те ж саме стосується формулювань висновків до розділів та загальних підсумків (с. 179-181).

3. Загальний обсяг першого розділу автором дещо перевищено. Бажано було тут, наприклад, скоротити необов'язкову інформацію загального характеру щодо огляду різновидів адаптивних систем.

4. З тесту дисертації незрозуміло, яким саме чином одержані диференціальні рівняння (1.9) математичної моделі двоколісної платформи.

5. При формулюванні інформаційно-логічної моделі робочого простору в дисертації вважається, що головною властивістю такого простору є його дискретність (стор. 72), що є незрозумілим, оскільки у такому просторі розглядаються звичайні геометричні образи (фігури), кожен з яких насправді містить нескінченну множину точок цього простору. Можна припустити, що в дисертації не розрізняється сам простір та його апроксимація за допомогою скінченної кількості осередків.

6. Ключовою ідеєю роботи є дискретизація робочого простору скінченною кількістю осередків, які можуть бути зайняті об'єктами, що розташовані в цьому просторі. Зрозуміло, що результат такої апроксимації неперервного простору скінченною кількістю осередків істотно залежить від розміру окремого скінченного осередку. У роботі не наведено обґрунтування щодо вибору розміру скінченного осередку, що забезпечує допустиму для розглядуваних задач похибку дискретної апроксимації неперервного робочого простору.

7. Автором роботи не завжди наводяться достатні обґрунтування необхідності застосування саме тих чи інших наукових підходів. Наприклад, застосування алгоритму логічного виведення Мамдані (с.127) у третьому розділі, декларована «адаптивність» схем на рис. 3.10-3.11 не є очевидною.

8. У дисертації чомусь фактично ніде не зазначається наявне застосування перспективних технологій IoT (для Arduino та Rasbery Pi), а також потенційні можливості використання більш складних законів керування ніж ті, що були передбачені для рис. 4.2-4.3.

9. Висновки окремих розділів мають вигляд простих анотацій. Наприклад, розділ 2 (1-й висновок), розділ 3 (1-й, 2-й висновки) тощо.

10. У роботі присутні незначні помилки та/або неточності в оформленні, наприклад, некоректно зазначена загальна кількість розділів в авторефераті (с.5), «русизмів» («таким чином», с. 1, 10 в авторефераті або с. 98, 110, 155 в дисертації), небажане застосування прийменника «по» (с.11,

с.13 автореферату тощо), у формулах автором не завжди наводяться відповідні одиниці вимірювання.

Сформульовані зауваження пов'язані виключно із неточностями формулювань у тексті дисертації і не впливають на загальну позитивну характеристику дисертації.

Висновок про відповідність спеціальності

Результати дисертації відповідають наступним напрямам досліджень, що передбачені в паспорті спеціальності 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»:

– Методи створення АСК процесами та комплексами різного призначення.

– Формалізація завдань керування складними організаційно-технічними об'єктами та комплексами, розроблення критеріїв оцінювання якості їхнього функціонування.

– Моделювання об'єктів та систем керування (статичні та динамічні, стохастичні та імітаційні, логіко-динамічні тощо моделі).

– Інформаційне та програмне забезпечення АСК організаційно-технічними об'єктами та комплексами.

– Системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності при керуванні організаційно-технічними об'єктами і комплексами різного призначення.

Загальний висновок

Вивчення змісту дисертації дозволяє стверджувати, що вона є завершеною науковою доробкою, що відповідає паспорту спеціальності 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування» та спрямована на вирішення важливої задачі інтелектуального управління гнучкими робото-технічними системами на основі розробки низки нових моделей та удосконалених методів для забезпечення досить високої ступені інтегрованості та надійності функціонування РТС, зокрема, транспортно-допоміжного призначення. Основні результати дисертації опубліковано у провідних наукових фахових виданнях, апробовано на міжнародних конференціях. Автореферат відповідає дисертації та достатньо передає її зміст і основні положення. Аналіз публікацій за темою дисертації свідчить, що основні результати дисертації було отримано здобувачем самостійно. Тема дисертації є актуальною;

наукові положення, висновки та рекомендації дисертації містять наукову новизну та практичну цінність, є обґрунтованими та достовірними.

На підставі актуальності теми дисертації, обґрунтованості її наукових положень і висновків, практичного значення і новизни отриманих результатів, вважаю, що дисертація Броннікова Артема Ігоровича відповідає вимогам пп. 9, 11–14 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування».

Офіційний опонент

Завідувач кафедри

комп'ютерних систем та мереж

Криворізького національного університету МОНУ

доктор технічних наук, професор



«02» 09 2021 р.

Підпис	<i>Артема Ігоровича Броннікова</i>
ЗАСВІДЧУЮ:	
Учений секретар Криворізького національного університету	
<i>Т. С. Сушенко</i>	
«02» Вересня 2021 р.	