

Голові спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03  
Харківського національного університету  
радіоелектроніки  
61166, Харків, пр. Науки, 14

### ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

завідувача кафедри Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, доктора технічних наук, професора О. В. Поляруса на дисертаційну роботу Сергієнка Олега Юрійовича “Розвиток теорії та удосконалення систем автономної навігації мобільних наземних роботів у недетермінованих середовищах”, яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – Радіотехнічні та телевізійні системи

**Актуальність теми дослідження.** Сучасний етап розвитку суспільства супроводжується активним впровадженням в промисловість та інші галузі мобільних роботів (МР), які можуть працювати автономно в своєму робочому просторі. Досить розвинутою є теорія та практика побудови МР, що здійснюють навігацію по відомим орієнтирам на місцевості. На практиці існує багато випадків, коли існує неповна інформація про орієнтири і середовище, в якому функціонує робот. Для таких умов ще не розроблена розвинута теорія та методи навігації мобільних роботів. Звідси виникає необхідність розвитку теорії автономної навігації мобільних роботів в недетермінованих середовищах. Цьому напрямку присвячена дисертаційна робота Сергієнка О. Ю., тема якої є актуальною.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, що сформульовані в дисертації.**

Теорія систем автоматичної навігації мобільних наземних роботів є надзвичайно складною і повинна включати як теорію систем технічного зору, радіолокації, так і теорію штучного інтелекту. Все це повинно поєднуватися з



елементами теорії механічних систем і автоматичного управління. Автор спробував в дисертації звести знання з різних розділів науки в один науковий напрям в інтересах розв'язання проблеми автономної навігації роботів в недетермінованих середовищах. Як і біологічні істоти, робот наділяється власною просторовою орієнтацією, часовою шкалою і має деяку апіорну інформацію про рельєф місцевості, на якій він повинен працювати. Робот має "очі і голову", тобто систему технічного зору та аналітичну систему у вигляді штучної нейронної мережі і комп'ютерних програм, що враховують стан навколишнього середовища і вплив різного типу завад. Робота всіх електронних і механічних систем робота синхронізована з допомогою власного бортового годинника, частота якого контролюється. З цієї точки зору можна стверджувати про створення в дисертації науково-методичного апарату для автономної навігації МР. Цей загальний апарат розділився в роботі на окремі напрямки.

Головним напрямком, на мій погляд, є науковий напрямок, в межах якого автором розроблені методи, що забезпечують розвідувальні можливості МР. Одним з таких методів є динамічна триангуляція, яка відрізняється від звичайної триангуляції, що використовується, наприклад, в пасивній радіолокації, тим, що параметри трикутника, з допомогою якого визначають координати об'єкта, швидко змінюються. Джерелом електромагнітних хвиль є лазерна система, яка встановлена на МР. Лазерний приймач разом з передавачем, що віддалений від приймача, та конкретна перешкода на місцевості створюють трикутник, геометричні параметри якого підлягають швидкому вимірюванню. Автором враховані основні особливості вимірювання положення МР на незнайомій місцевості, що дало можливість в зручній для робота системі координат виявляти небезпечні краї перешкод та будувати їх цифрову карту. Після проведення такої підготовки місцевість може перетворитись в квазідетерміновану для конкретного МР.

Іншими науковими напрямками є такі, що забезпечують реалізацію основного напрямку роботи. Серед них треба виділити розроблений автором новий метод вимірювання часових інтервалів та частоти сигналів, що забезпечує реєстрацію всіх змін частоти бортового годинника МР з урахуванням випадкових

змін фази та нестабільності тривалості імпульсів в послідовності. Метод ґрунтується на використанні в якості математичного апарату окремих розділів теорії чисел. Запропонований підхід істотно зменшує час контролю частоти без втрати необхідної точності.

Деякі нових методів покращують характеристики лазерного сканера як елемента отримання інформації про перешкоди на шляху руху МР. Застосування змінного кроку сканування робить систему виявлення перешкод адаптивним інструментом збору інформації робота і забезпечує мінімальні витрати часу на проведення сканування. Розширення достовірної зони поля зору МР досягається за рахунок покращення якості вимірювальної інформації на основі попередньо навчених нейронних мереж як елемента інтелектуальної системи. В усіх розроблених методах враховується вплив різного виду завад. Для цього використовується інформація з датчиків робота і бортового годинника. Це дає можливість врахувати вплив стану механічної системи робота на точність визначення координат перешкод, свого положення на місцевості тощо.

Отже, висновки та рекомендації автора, що сформульовані в дисертаційній роботі, є науково обґрунтованими і ясними для розуміння з математичної та фізичної точок зору.

**Достовірність і новизна наукових положень, висновків та рекомендацій, що сформульовані в дисертації.** Результати аналізу фактичних даних, які наведені в докторській дисертації Сергієнка О. Ю., свідчать про їх достовірність. Всі наукові положення перевірені експериментально та з допомогою математичного моделювання і опосередковано підтверджуються висновками інших наукових робіт для окремих випадків. В дисертації розвиваються методи, що складають основу для розв'язання проблеми автоматичної навігації МР у недетермінованих середовищах. В роботі отримані результати, що складають дев'ять пунктів наукової новизни. Вони є новими, однак оформлення їх як наукової новизни виконано не зовсім коректно. На мій погляд, третій, четвертий та п'ятий пункти можна було б об'єднати, оскільки вони призначені для вирішення однієї і тієї ж

задачі вимірювання часових інтервалів та частоти сигналів, тобто є окремими пунктами цієї задачі.

В цілому ж можна стверджувати, що теоретичні та експериментальні дані, які були отримані здобувачем, а також висновки і рекомендації є в науковому відношенні суттєвими і достовірними.

**Важливість для науки і промисловості одержаних автором дисертації результатів.**

У науково-теоретичному відношенні результати дисертаційної роботи Сергієнка О. Ю. розширюють уявлення про можливості автономної навігації роботів в недетермінованих середовищах. Автор намагався розробити такі методи, які копіювали б окремі дії біологічних істот в незнайомих середовищах. При цьому одним з головних завдань для нього було отримання практичних схем МР, які вимагають мінімальних витрат, хоча всебічний економічний аналіз в дисертації не проведений. Виконані на основі розробленої автором теорії схеми МР виявились ефективними і важливими для практики. Необхідно виділити серед запропонованих методи, що дають основу для максимального збереження енергії живлення робота за рахунок вибору мінімальних за довжиною плавних траєкторій. Цьому також сприяє раціональний підхід автора до розробки відносно простих приймальних систем МР та обчислювальних алгоритмів. Не викликає сумніву, що окремі положення дисертації будуть впроваджуватись в різні галузі людської діяльності, що пов'язані з використанням МР. Це, зокрема, стосується, насамперед, діагностики стану інженерних споруд, комунікацій тощо, особливо на місцевості, на якій не бажано працювати людині.

Таким чином, одержані автором результати є важливими для науки і промисловості, а науковий напрям, в рамках якого виконана дисертація, потребує подальшого розвитку.

**Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій, що сформульовані в дисертації.** Наукові положення, висновки та рекомендації, які сформульовані в докторській дисертації і авторефераті, достатньо повно викладені в 8 монографіях, 69 публікаціях, що входять до міжнародної бази даних Scopus, в 6 статтях у фахових виданнях України. Автор брав участь в 30 міжнародних

науково-технічних конференціях в різних країнах світу. За результатами досліджень отримано один патент. Отже, наукові положення, висновки та рекомендації дисертації достатньо повно висвітлені в наукових працях.

### **Зауваження до дисертації.**

Дисертація має не тільки істотні здобутки, але і вразливі місця, щодо яких необхідно зробити певні зауваження.

1. Не обґрунтований вибір базової відстані між оптичними центрами системи позиціонування лазера та скануючої апертури, а також часу статичного стану динамічного трикутника, на протязі якого здійснюється вимірювання миттєвих координат точок перешкоди або іншого об'єкта. При розробці методології перетворення неперервної поверхні перешкоди в сітку дискретних точок не оптимізована кількість таких точок та відстані між ними. Не в повній мірі врахований характер розсіювання електромагнітних хвиль на складній за формою поверхні об'єкта. Отже, в дисертації не синтезована оптимальна система вимірювання координат перешкод для робота. Якби це було зроблено, то всі вище зазначені недоліки зникли..
2. Для боротьби з шумом у вигляді адитивної суми механічного шуму в електроприводі та синусоїдального шуму електроживлення автором вибраний відомий фільтр Баттерворта внаслідок того, що він є лінійним і має гладку частотну характеристику. При цьому не врахований вплив інших завад і не доведено, що такий фільтр буде найкращим за критерієм придушення шумів для різних умов експлуатації мобільних роботів. При використанні алгоритму LMS не перевірений випадок високої кореляції сигналів вібрацій, що виділяються акселерометрами, з корисними сигналами. Не розглянута можливість використання паразитних сигналів вібрацій як корисних для оцінки апріорної інформації про навколишнє середовище.
3. При розробці методу оперативного визначення частоти сигналу бортового годинника не розраховані оптимальні значення тривалості імпульсів в

послідовності, не зазначені найбільш ймовірні значення випадкових фазових зсувів, що характерні для робототехніки. Не отримані залежності похибки вимірювання частоти від дисперсії випадкових фазових зсувів.

4. Не розкриті поняття “точності первинних результатів сканування” і не приведена методика її визначення. Не пояснюється також підхід до визначення оптимального кроку сканування лазера. Не обґрунтована модель поверхні та перешкод, що на ній розміщуються. Звідси з’являється сумнів, щодо універсальності робота, тобто в якій мірі робот є універсальним чи спеціалізованим.
5. Не встановлено, як застосування штучних нейронних мереж вплинуло на розрізнявальну здатність вимірювальної системи, її швидкодію та заводо захищеність і яким чином ці параметри залежать від типу нейронних мереж та кількості шарів і нейронів в них. Не показано, чи можливе ефективне функціонування робота в реальному масштабі часу з участю нейронних мереж у відповідних алгоритмах.
6. В дисертації не доведена лінійність робототехнічної системи. В дійсності робот включає багато механічних систем і елементів, їх з’єднань, що може бути причиною нелінійності кінематичної моделі мобільного робота. В дисертаційній роботі в базовій системі координат складені матричні рівняння управління станом і орієнтацією мобільного робота, а такі рівняння є справедливими в багатьох випадках тільки для лінійних систем.
7. Існують недоліки оформлення матеріалу дисертаційної роботи та автореферату. Наприклад, на с. 17 – 20 автореферату замість слова “похибка” вживається “помилка”. Текст на деяких рисунках, наприклад, на рисунках 14, 17 автореферату виконаний дуже малими буквами і його важко читати без спеціальних засобів. На сторінці 19 автореферату є посилання на рисунок 6, хоча це не відповідає дійсності.

Зазначені зауваження істотно не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість. Науковий зміст автореферату повністю відповідає науковим положенням дисертації.

**Відповідність дисертації встановленим вимогам.**

Дисертаційна робота Сергієнка О. Ю. є завершеною кваліфікаційною науково-дослідною працею, має внутрішню єдність, містить наукові положення і нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що в сукупності вирішують важливу науково-технічну проблему узагальненого та узгодженого розв'язання комплексу завдань розроблення теорії та методів автоматичної навігації мобільних роботів у недетермінованих середовищах в умовах завод.

Робота свідчить про особистий внесок автора в науку та повністю відповідає вимогам п. 11, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 07.03.2007 р. № 423 (зі змінами), діючим на сьогоднішні пунктам Наказів Міністерства освіти і науки України «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук» від 17.10.2012 та від 03.12.2012 № 1380 і паспорту спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент  
завідувач кафедри метрології  
та безпеки життєдіяльності  
Харківського національного  
автомобільно-дорожнього університету  
доктор технічних наук, професор

О. В. Полярус

