

## ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
Кафедра ЕОМ

Графова модель керування рухом безпілотного  
транспортного засобу

Кваліфікаційна робота  
Другий (магістерський) рівень

Автор:  
Шістеров І.Ю.  
студ. гр. КСМм-22-2

Керівник:  
доц. Лебедєв О.Г.  
каф. ЕОМ

2024

## МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

2

**МЕТОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ** є дослідження графової моделі керування рухом безпілотним транспортним засобом.

**ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ МЕТИ:**

- ❖ провести огляд структури стабілізації безпілотного транспортного засобу у процесі руху;
- ❖ провести експериментальну перевірку роботи графової моделі керування рухом безпілотним транспортним засобом.

### АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

3

В даний час у розвинених країнах світу ведуться наукові дослідження, які тісно пов'язані із дослідженнями застосування безпілотних транспортних засобів. Створення таких пристроїв, здатних у безпілотному режимі рухатися поверхнею, але за допомогою інтелектуальної систем управління (мається на увазі як автомобіль землі, так і марсохід) характеризується одиничним виробництвом. Інтелектуальна система управління таких безпілотних транспортних засобів діє за умов невизначеності поверхні, якою рухається цей транспортний засіб.

Класичні методи аналізу, такі як статистична обробка або авторегресія, через малу вибірку і високу невизначеність збурень не дадуть прийнятної точності керування. Тому розробка адаптивної моделі керування рухом безпілотного транспортного засобу в умовах невизначеності є на сьогодні актуальним науковим завданням.

### СУЧАСНИЙ ПІДХІД АНАЛІЗУ ТА КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

4

Під час керування рухом безпілотним транспортним засобом виникають фундаментальні завдання, які необхідно вирішувати. Одно з таких завдань є завдання аналізу стану та управління безпілотним транспортним засобом в умовах гальмування.

Вирішення таких завдань вимагає моделювання особливих підходів, які повинні включати:

- по-перше, зв'язки між параметрами, що визначають властивості та математичну модель;
- по-друге, хаотичність моделі в процесі руху та розвитку динамічно небезпечної ситуації.

## СУЧАСНИЙ ПІДХІД АНАЛІЗУ ТА КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

5



У найближчому майбутньому планується створити автономні безпілотні транспортні засоби, які виконуватимуть різні транспортні функції за умов невизначеності. При цьому найбільший науково-інженерний доробок створений у компанії GOOGLE з розробки програмно-алгоритмічного забезпечення автономного руху. Сучасним завданням інтелектуалізації є розробка алгоритмів керування автономними безпілотними транспортними засобами у дистанційному режимі (відстань понад 300 000 км) - марсохід.

## СУЧАСНИЙ ПІДХІД АНАЛІЗУ ТА КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

6



Сучасні датчики (лазерний сканер) визначають область поряд з безпілотним транспортним засобом на шляху не менше 45 м та формують картину зовнішнього середовища. Лазерний сканер – це підвісний каркас із камерою на транспортному засобі. Центральним місцем серед входних пристроїв системи безпілотного керування автономним рухом буде датчик відстані, розташований на вершині безпілотного транспортного засобу. Така модель є 32 - бітною системою (лазер-датчик), який формує дані параметрів простору.

## СУЧАСНИЙ ПІДХІД АНАЛІЗУ ТА КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

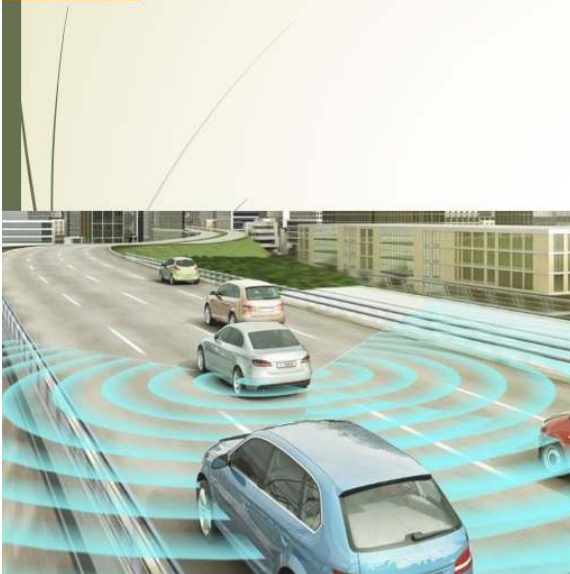
7



Різні компанії не формують і не створюють своїх безпілотних транспортних засобів, а концентруються на головному – встановити коректне програмне забезпечення для інтелектуальної системи керування цим безпілотним транспортним засобом. Програмне забезпечення відповідає за створення унікальних можливостей інтелектуалізації безпілотних транспортних засобів. Один із відомих прикладів – це Google Chauffeur. Спрямованість таких проєктів – це цифровізація схем місцевості.

## СУЧАСНИЙ ПІДХІД АНАЛІЗУ ТА КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

8



Узагальнюючи технічні можливості засобів цифровізації безпілотного транспортного засобу, можна обґрунтовано вважати, що прогрес алгоритмічних та програмних засобів стабілізації руху піде шляхом отримання та використання додаткової інформації про зовнішнє оточення безпілотного транспортного засобу. Математичні моделі та методи мають бути використані як розширення інформації

## СУЧАСНИЙ ПІДХІД АНАЛІЗУ ТА КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

9

### Огляд структури стабілізації безпілотного транспортного засобу у процесі руху

Взаємодія системи «транспортний засіб - покриття» можна формалізовано уявити завдяки конфліктно - параметричному блоку. Сформовано кілька шляхів аналізу конфліктної ситуації.

**Шлях № 1.** Сформувати взаємодію об'єктів у математичному вигляді з урахуванням параметрів і аналізу ситуації та впровадити ефективні управлінські параметри, що впливають на взаємодію, зв'язки, рішення і висновок «конфліктування». Вирішені моделі займатимуть більшу частину обчислення, але на виході буде виходити ефективно оптимальне управління.

**Шлях № 2.** Припустимо, що об'єкти, зв'язки та блоки розкриті і маркування параметра дозволило спроектувати елементарний об'єкт для прогнозування закінчення конфлікту. Рішенням буде швидкий, але специфічний алгоритм.

## СУЧАСНИЙ ПІДХІД АНАЛІЗУ ТА КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

10

Проектування схеми конфліктування означає, що реалізований алгоритм контролю математично-параметричної задачі матиме наступні ознаки:

- складні схеми, взаємопов'язані та багатопрофільні;
- оперуючи між собою об'єкти будуть пов'язані і відмінні параметри означають безперервне коригування графової моделі;
- об'єкти рухаються в просторово-тимчасовому континуумі або в функціонально-параметричному полі системи;
- аналітично-практичні застосування та параметричні атрибути конфлікту утворюють загальний взаємозв'язок.

## СУЧАСНИЙ ПІДХІД АНАЛІЗУ ТА КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

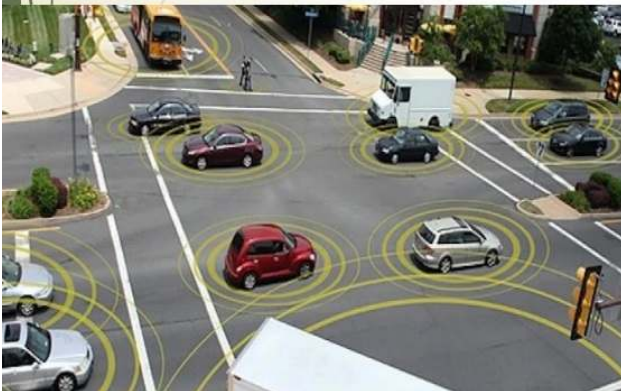
11

Для інтелектуальної системи керування процесом гальмування безпілотним транспортним засобом пропонується підхід до синтезу головної мети, який складається з декомпозиції на безліч локальних під цілей - дерево цілей.

При цьому збільшення стійкості руху безпілотного транспортного засобу буде досягнуто завдяки ефективному алгоритму, заснованому на базі розроблених правил керування об'єктом руху.

## ГРАФОВА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

12



У сучасних завданнях керування складними технічними системами для прийняття своєчасних і обґрунтованих рішень необхідна обробка даних, що синхронно-асинхронно надходять, про параметри автономного безпілотного транспортного засобу та характеристик зовнішнього середовища.

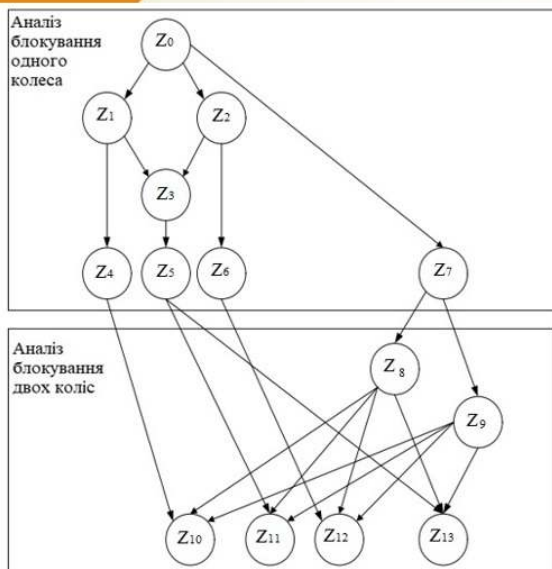
## ГРАФОВА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ 13

**Продукція** - математичний вираз, заданий над дискретними об'єктами (словами, наборами) у робочому та службовому алфавітах та реалізує операції пошуку та заміни над вхідним об'єктом, за умови позитивного пошуку. Виходячи з цього, продукція переглядає об'єкт, що обробляється ліворуч і виявляючи позицію (першого) входження пошукового зразка (шаблону), замінює його на об'єкт – модифікатор. У загальному вигляді продукція являє собою:

$$O \rightarrow M$$

де  $O$  – (об'єкт - шаблон) слово у робочому алфавіті чи його розширенні, що задає власний зразок продукції;  
 $M$  – власний модифікатор продукції;  
 $\rightarrow$  – службовий символ.

## ГРАФОВА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ 14

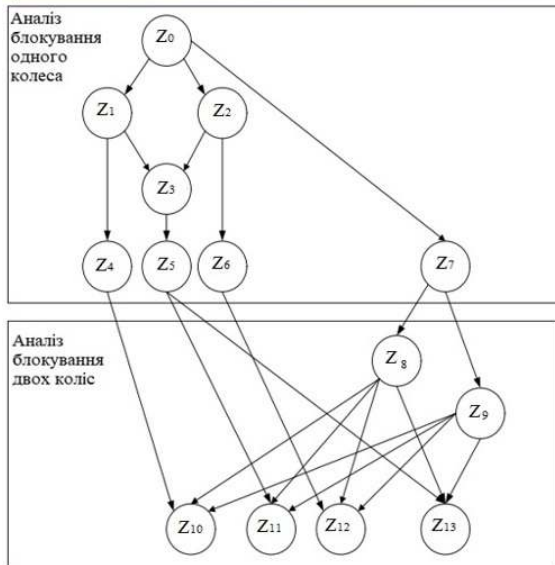


Для формалізації правил при розвитку динамічно - небезпечної ситуації розглядається ситуація екстреного гальмування безпілотним транспортним засобом з урахуванням показників зовнішнього середовища.

Виділяються наступні стани системи «транспортний засіб - зовнішнє неорганізоване середовище» для схеми управління безпілотним транспортним засобом.

Ієрархія станів у моделі «безпілотний транспортний засіб - зовнішнє середовище» представлена на графі.

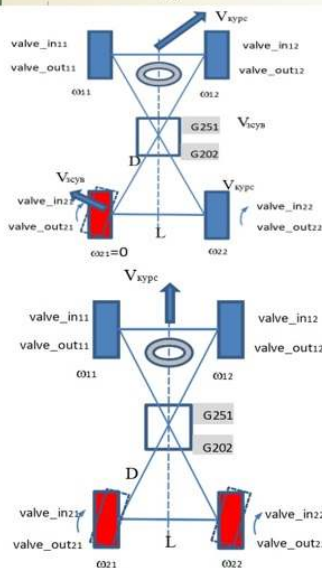
## ГРАФОВА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ 15



### Опис позначень на графовій моделі наступний

- штатне – Z0 (ZNORMAL);
- пограничне – Z1, Z2; Z3;
- нестабільне – Z4, Z5, Z6, Z7;
- небезпечне – Z8, Z9;
- критичне – Z10, Z11; Z12;
- некероване – Z13 (ZCRASH)

### Кінематична схема підвіски автономного транспортного засобу з блокуванням одного або двох задніх ведучих коліс



## ГРАФОВА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ 16

- штатний стан – Z0 (ZNORMAL);
- прикордонний стан із несприятливими метеорологічними умовами – Z1, Z2; Z3;
- нестабільний стан з блокуванням одного провідного колеса при екстремому гальмуванні – Z4, Z5, Z6, Z7;
- небезпечний стан із блокуванням двох провідних коліс при екстремому гальмуванні (передні або задні) – Z8, Z9;
- критичний стан із блокуванням двох провідних коліс при екстремому гальмуванні та з несприятливими метеорологічними умовами – Z10, Z11; Z12;
- критичний стан із блокуванням двох провідних коліс при екстремому гальмуванні та з несприятливими умовами – Z13 (ZCRASH);

## ГРАФОВА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

17

### Опису станів системи – «транспортний засіб - зовнішнє середовище»

**Перший параметр системи** – «транспортний засіб» - слово - стан транспортного засобу конкретизується як – **Word Vehicle = MATRIX\_W \* MATRIX\_K**.

Далі – положення транспортного засобу, що визначається за датчиками: **G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>**.

**Другий параметр системи** – «зовнішнє середовище». Виходячи з датчиків і засобів об'єктивного вимірювання або якісної оцінки фізичних параметрів зовнішнього середовища, що є в транспортному засобі, вводяться такі параметри:

- температура повітря за бортом транспортного засобу – **Temp**;
- інтенсивність випадання опадів на основі датчика дощу чи снігу – **Rain/Snow (R/S)**;
- змінна щільності потоку транспортних засобів – **Vehicle Thread**;
- відстань до попутного/зустрічного об'єкту по курсу – **Distance\_Vehicle**.

## ГРАФОВА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

18

### Опису станів системи – «транспортний засіб - зовнішнє середовище»

**Вихідні змінні, що визначаються для першого параметра:**

- однорідність структури покриття – **Roughness**.
- акселератор газу – **Gaz**.
- стоп сигнал – **STOP**.
- поточний кут повороту керма – **Angle**.
- поточна швидкість повороту керма – **wDRIVE**.
- лінійна швидкість автономного транспортного засобу – **Vhicl**;

## ГРАФОВА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

Виходячи з особливостей системи «**транспортний засіб-зовнішнє середовище**» структура продукційного правила має вигляд:

$$Z_{OLD}, A_{OLD}, V_{CAR}, \text{Angle}, \text{WordCar}, \text{Meteo}, \text{Way} \rightarrow Z_{NEW}, A_{NEW}, \text{Ind}$$

де  $Z_{OLD}$ ,  $Z_{NEW}$  – поточний чи новий стан інтелектуальної системи управління автономним транспортним засобом;

$A_{OLD}$ ,  $A_{NEW}$  – поточний або рекомендований стан параметра в інтелектуальній системі управління автономним транспортним засобом;

**Meteo** – метеорологічні умови {**Temp, Rain/Snow**};

**Way** – умови {**VehicleThread, Distance\_Vehicle, Roughness**};

**Ind** – рекомендовані індикатори для оператора {**ANGLE, V<sub>VEHICLE</sub>, STOP/GAZ**};

**Angle** – кут повороту керма в безпілотному транспортному засобі {**N, Left, Righth**}.

## ГРАФОВА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

Правило описує переходи у графі  $Z_0 \rightarrow Z_1$  при несприятливих метеоумовах, що описуються низькою температурою, щільністю випадання опадів:

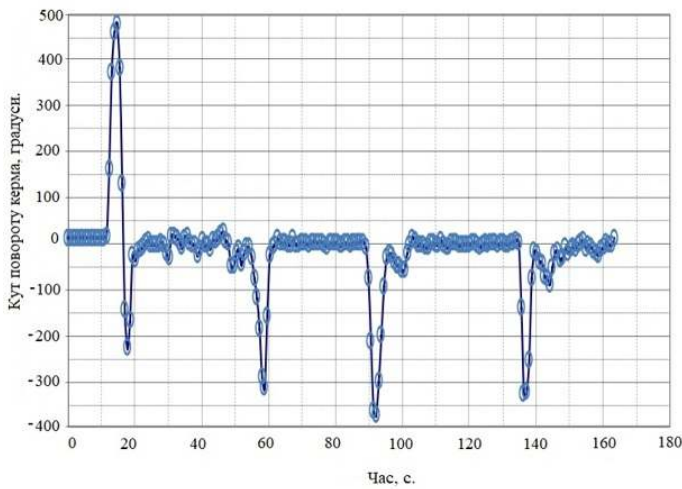
$$\text{Temp} = L$$

$$\text{R/S} = \text{HUM}$$

Основний аналізований та керуючий параметр – **VEHICLE**. Рекомендації приймаються при нейтральному положенні керма і відсутності моменту, що розвертає:

$$Z_0, A_0, (V_{CAR} = H), \text{NIL}, \text{WordCar} = 0, (\text{Temp} = L \ \& \ (\text{R/S} = \text{H/M})), \text{NIL}, \\ \rightarrow Z_1, A_0 (V_{CAR} = M), \text{off}$$

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РОБОТИ ГРАФОВОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ ПРИ РОЗВИТКУ ДИНАМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОЇ СИТУАЦІЇ



Для дотримання умов експерименту при моделюванні взаємодії безпілотного транспортного засобу із зовнішнім середовищем вхідні дані вводилися в MATLAB довільно за принципом руху транспортного засобу як «kick down», так і плавним набором швидкості. У ході моделювання фіксувалася динаміка зміни кута повороту керма.

## АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

www.konferenciaonline.org.ua

Міжнародна наукова  
інтернет-конференція

**Інформаційне суспільство:  
технологічні, економічні  
та технічні аспекти становлення**

Випуск 80

ISSN 2522-932X

Google Scholar

19-20 вересня 2023 р.

м. Тернопіль, Україна – м. Ополе, Польща  
2023

*Лебедев Олег Григорович, кандидат технічних наук,  
доцент, Харківський національний  
університет радіоелектроніки, м. Харків  
ORCID: 0000-0001-5998-0136*

*Шпітеров Ігор Юрійович, магістр,  
Харківський національний  
університет радіоелектроніки, м. Харків*

### ГРАФОВА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

Інтернет-адреса публікації на сайті:  
<http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article?id=1268/>

Графовий підхід передбачає, що карту місцевості розподілено по вузлах графа рис.1.

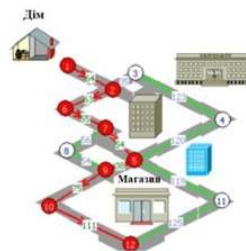


Рис.1. Приклад представлення карти місцевості у вигляді графа

## ВИСНОВКИ

23

**ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ була досліджена графова модель керування рухом безпілотним транспортним засобом.**

### **В КВАЛІФІКАЦІЙНІЙ РОБОТІ ВИРІШЕНІ ТАКІ ЗАДАЧІ:**

- ❖ проведено огляд структури стабілізації безпілотного транспортного засобу у процесі руху;
- ❖ проведено експериментальну перевірку роботи графової моделі керування рухом безпілотним транспортним засобом.