

ДОДАТОК А

Код URDF файлу робота

```

<?xml version="1.0"?>
<robot name="my_robot" xmlns:xacro="http://ros.org/wiki/xacro">

  <xacro:property name="base_width" value = "0.31"/>
  <xacro:property name="base_length" value = "0.42"/>
  <xacro:property name="base_height" value = "0.18"/>

  <xacro:property name="wheel_radius" value="0.10"/>
  <xacro:property name="wheel_width" value="0.04"/>
  <xacro:property name="wheel_ygap" value="0.025"/>
  <xacro:property name="wheel_zoff" value="0.01"/>
  <xacro:property name="wheel_xoff" value="0.05"/>

  <xacro:property name="caster_xoff" value="0.1"/>

  <!-- Define inertial property macros -->
  <xacro:macro name="box_inertia" params="m w h d">
    <inertial>
      <origin xyz="0 0 0" rpy="{pi/2} 0 {pi/2}"/>
      <mass value="{m}"/>
      <inertia ixx="{(m/12) * (h*h + d*d)}" ixy="0.0" ixz="0.0"
iyy="{(m/12) * (w*w + d*d)}" iyz="0.0" izz="{(m/12) * (w*w + h*h)}"/>
    </inertial>
  </xacro:macro>

```

```

<xacro:macro name="cylinder_inertia" params="m r h">
  <inertial>
    <origin xyz="0 0 0" rpy="{pi/2} 0 0" />
    <mass value="{m}" />
    <inertia ixx="{(m/12) * (3*r*r + h*h)}" ixy = "0" ixz = "0"
iyy="{(m/12) * (3*r*r + h*h)}" iyz = "0" izz="{(m/2) * (r*r)}" />
  </inertial>
</xacro:macro>

```

```

<xacro:macro name="sphere_inertia" params="m r">
  <inertial>
    <mass value="{m}" />
    <inertia ixx="{(2/5) * m * (r*r)}" ixy="0.0" ixz="0.0" iyy="{(2/5) * m
* (r*r)}" iyz="0.0" izz="{(2/5) * m * (r*r)}" />
  </inertial>
</xacro:macro>

```

```

<!-- Robot Base -->
<link name="base_link">
  <visual>
    <origin xyz="0 0 ${base_height/2}" rpy="0 0 0" />
    <geometry>
      <box size="{base_length} {base_width} {base_height}" />
    </geometry>
    <material name="Cyan">
      <color rgba="0 1.0 1.0 1.0" />
    </material>
  </visual>
  <collision>

```

```

<origin xyz="0 0 ${base_height/2}" rpy="0 0 0"/>
  <geometry>
    <box size="${base_length} ${base_width} ${base_height}"/>
  </geometry>
</collision>

  <xacro:box_inertia m="5" w="${base_width}" d="${base_length}"
h="${base_height}"/>
</link>

<gazebo reference="base_link">
  <material>Gazebo/Orange</material>
</gazebo>

<!-- Camera Link -->
<link name="camera_link">
  <visual>
    <origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
    <geometry>
      <box size="0.02 0.02 0.02"/>
    </geometry>
    <material name="Red">
      <color rgba="1 0 0 1.0"/>
    </material>
  </visual>
  <collision>
    <origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
    <geometry>
      <box size="0.02 0.02 0.02"/>
    </geometry>

```

```
</collision>
```

```
</link>
```

```
<joint name="camera_joint" type="fixed">
```

```
<parent link="base_link"/>
```

```
<child link="camera_link"/>
```

```
<origin xyz="0.2 0 0.2" rpy="0 0 0"/>
```

```
</joint>
```

```
<!-- Camera -->
```

```
<gazebo reference="camera_link">
```

```
<sensor type="camera" name="camera">
```

```
<pose>0 0 0 0 0 0</pose>
```

```
<visualize>true</visualize>
```

```
<camera>
```

```
<horizontal_fov>1.047</horizontal_fov>
```

```
<image>
```

```
<width>640</width>
```

```
<height>480</height>
```

```
<format>R8G8B8</format>
```

```
</image>
```

```
<clip>
```

```
<near>0.05</near>
```

```
<far>100</far>
```

```
</clip>
```

```
</camera>
```

```
<plugin
```

```
name="camera_controller"
```

```
filename="libgazebo_ros_camera.so">
```

```
<alwaysOn>true</alwaysOn>
```

```
<updateRate>30.0</updateRate>
```

```

    <cameraName>camera</cameraName>
    <imageTopicName>/camera/image_raw</imageTopicName>

<cameraInfoTopicName>/camera/camera_info</cameraInfoTopicName>
    <frameName>camera_link</frameName>
    <hackBaseline>0.07</hackBaseline>
    </plugin>
</sensor>
</gazebo>

<!-- Caster Wheel -->
<link name="caster">
    <visual>
        <geometry>
            <sphere radius="{wheel_zoff}"/>
        </geometry>
        <material name="white">
            <color rgba="1 1.0 1.0 1.0"/>
        </material>
    </visual>
    <collision>
        <origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
        <geometry>
            <sphere radius="{wheel_zoff}"/>
        </geometry>
    </collision>

    <xacro:sphere_inertia    m="0.5"    r="{(wheel_radius+wheel_zoff-
(base_height/2))}"/>
</link>

```

```

<gazebo reference="caster">
  <material>Gazebo/Blue</material>
</gazebo>

<joint name="caster_joint" type="fixed">
  <parent link="base_link"/>
  <child link="caster"/>
  <origin xyz="{ -caster_xoff} 0.0 0" rpy="0 0 0"/>
</joint>

<!-- Wheels -->
<xacro:macro name="wheel" params="prefix x_reflect y_reflect">
  <link name="{prefix}_link">
    <visual>
      <origin xyz="0 0 0" rpy="{pi/2} 0 0"/>
      <geometry>
        <cylinder radius="{wheel_radius}" length="{wheel_width}"/>
      </geometry>
      <material name="Gray">
        <color rgba="0.5 0.5 0.5 1.0"/>
      </material>
    </visual>
    <collision>
      <origin xyz="0 0 0" rpy="{pi/2} 0 0"/>
      <geometry>
        <cylinder radius="{wheel_radius}" length="{wheel_width}"/>
      </geometry>
    </collision>
  </link>
</xacro:macro>

```

```

        <xacro:cylinder_inertia          m="0.5"          r="{wheel_radius}"
h="{wheel_width}"/>
    </link>

    <joint name="{prefix}_joint" type="continuous">
        <parent link="base_link"/>
        <child link="{prefix}_link"/>
        <origin                                xyz="{-x_reflect*wheel_xoff}
${y_reflect*(base_width/2+wheel_ygap)} ${wheel_radius-wheel_zoff}" rpy="0 0
0"/>

        <axis xyz="0 1 0"/>
    </joint>
</xacro:macro>

<xacro:wheel prefix="drivewhl_l" x_reflect="-1" y_reflect="1" />
<xacro:wheel prefix="drivewhl_r" x_reflect="-1" y_reflect="-1" />

<gazebo>
    <plugin name='diff_drive' filename='libgazebo_ros_diff_drive.so'>

    <!-- wheels -->
    <left_joint>drivewhl_l_joint</left_joint>
    <right_joint>drivewhl_r_joint</right_joint>

    <!-- kinematics -->
    <wheel_separation>0.4</wheel_separation>
    <wheel_diameter>0.2</wheel_diameter>

    <!-- limits -->
    <max_wheel_torque>80</max_wheel_torque>

```

```
<max_wheel_acceleration>1.0</max_wheel_acceleration>
```

```
<!-- output -->
```

```
<publish_odom>true</publish_odom>
```

```
<publish_odom_tf>false</publish_odom_tf>
```

```
<publish_wheel_tf>true</publish_wheel_tf>
```

```
<odometry_frame>odom</odometry_frame>
```

```
<robot_base_frame>base_link</robot_base_frame>
```

```
</plugin>
```

```
</gazebo>
```

```
</robot>
```


ДОДАТОК Б

Код файлу YAML для уточнення параметрів монокулярної камери для
VSLAM

```
%YAML:1.0
```

```
Camera.type: "PinHole"
```

```
# Camera calibration and distortion parameters (OpenCV)
```

```
Camera.fx: 517.306408
```

```
Camera.fy: 516.469215
```

```
Camera.cx: 318.643040
```

```
Camera.cy: 255.313989
```

```
Camera.k1: 0.262383
```

```
Camera.k2: -0.953104
```

```
Camera.p1: -0.005358
```

```
Camera.p2: 0.002628
```

```
Camera.k3: 1.163314
```

```
# Camera frames per second
```

```
Camera.fps: 5.0
```

```
# Color order of the images (0: BGR, 1: RGB. It is ignored if images are  
grayscale)
```

```
Camera.RGB: 1
```

```
# Camera resolution
```

Camera.width: 640

Camera.height: 480

#-----

-
ORB Parameters

#-----

-
ORB Extractor: Number of features per image

ORBextractor.nFeatures: 1000

ORB Extractor: Scale factor between levels in the scale pyramid

ORBextractor.scaleFactor: 1.2

ORB Extractor: Number of levels in the scale pyramid

ORBextractor.nLevels: 8

ORB Extractor: Fast threshold

ORBextractor.iniThFAST: 20

ORBextractor.minThFAST: 7

#-----

-
Viewer Parameters

#-----

-
Viewer.KeyFrameSize: 0.05

Viewer.KeyFrameLineWidth: 1

Viewer.GraphLineWidth: 0.9

Viewer.PointSize:2

Viewer.CameraSize: 0.08

Viewer.CameraLineWidth: 3

Viewer.ViewpointX: 0

Viewer.ViewpointY: -0.7

Viewer.ViewpointZ: -1.8

Viewer.ViewpointF: 500

ДОДАТОК В

Апробація результатів кваліфікаційної роботи

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет



**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
НА ТРАНСПОРТІ ТА У ВИРОБНИЦТВІ**

**МАТЕРІАЛИ
ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ І МОЛОДИХ УЧЕНИХ**

22 листопада 2023 р.

Харків 2023

УДК 004:629:656:658

Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. – Харків, ХНАДУ, 2023. – 320 с.

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова

Богомолов В.О., проф., Україна, Харків

Заступники голови

Дмитрієв І. А., проф., Україна, Харків

Ефименко О.В., проф., Україна, Харків

Гурко О.Г. проф., Україна, Харків

ОРГАНІЗАТОР КОНФЕРЕНЦІЇ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

ЧЛЕНИ ОРГКОМІТЕТУ

Vera Tyrsa, PhD, Autonomous University of Baja California, Mexico

Безкоровайний В.В., проф., Україна, Харків, ХНУРЕ

Бушуєв С.Д., проф., Україна, Київ, КНУБА

Гавриленко В.В, проф., Україна, Київ, НТУ

Годлевський М.Д., проф., Україна, Харків, НТУ «ХП»

Гурко О.Г., проф., Україна, Харків, ХНАДУ

Кононенко І.В., проф., Україна, Харків, НТУ «ХП»

Кириченко І.Г., проф., Україна, Харків, ХНАДУ

Лобур М.В., проф., Україна, Львів, НУ «Львівська політехніка»

Невлюдов І.Ш., проф., Україна, Харків, ХНУРЕ

Нефьодов Л.І. проф., Україна, Харків, ХНАДУ

Овчаренко В.Є., проф., Україна, Харків, ХНУРЕ

Петренко Ю.А., проф., Україна, Харків, ХНАДУ

Раскін Л.Г., проф., Україна, Харків, НТУ «ХП»

Тимчук С. О., проф., Україна, Харків, Державний біотехнологічний університет

Федорович О.Є., проф., Україна, Харків, НАУ «ХАІ»

Харченко В.С., проф., Україна, Харків, НАУ «ХАІ»

Чернов С.К., проф. (Україна, Миколаїв, НУК

ЗМІСТ

	стор.
СЕКЦІЯ 1	
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	
МОДИФІКАЦІЯ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛУ ТА ВИКОНАННЯ ПАКЕТІВ РОБІТ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ	12
Безкоровайний В.В., Чоломбитько Д.В	
КІНЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ ФРОНТАЛЬНОГО НАВАНТАЖУВАЧА	16
Гурко В.О	
НЕЧІТКА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА	21
Панов А. О., Колісник Р. І.	
СИСТЕМОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ СИНТЕЗУ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	26
Шахрай Р. Р., Безкоровайний В. В	
РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИБОРУ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ	30
Шеванов А.Е	
СЕКЦІЯ 2	
КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ, РОБОТОТЕХНІКА ТА МЕХАТРОНІКА	
АНАЛІЗ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТУ	35
Александровська Ю.О., Логунов Д.О	
КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДОЗУВАННЯ СИПУЧИХ РЕЧОВИН	39
Ворожко М.В., Хом'як Н. Ю.	
МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ НАВІГАЦІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ	42
Галіцейський Д. А	
АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ	46
Дудкін Б.В., Ткаченко Ю.А	
КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ДОРОЖНЬОГО ПОЛОТНА	50
Запорожцев С.Ю., Марушев М.О., Запорожцев Д.С.	

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ МУРАШИНОЇ КОЛОНІЇ ПРИ КЕРУВАННІ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИМИ МАШИНАМИ	53
Зеленько А.В., Барсуков Д.О.	
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ПОВІДОМЛЕНЬ МІЖ АВТОМОБІЛЯМИ В ЗАДАЧІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРО МОЖЛИВЕ ЗІТКНЕННЯ	56
Карпишен Б.С.	
ВПЛИВ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НА АВТОМАТИЗАЦІЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЛОГІСТИЦІ ТА ТРАНСПОРТІ: АНАЛІЗ УСПІШНИХ ПРИКЛАДІВ	62
Крайнюк М.Ю., Медведовська Я.С.	
АНАЛІЗ РОБОТА ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ	65
Кузьмін М.Д., Кузьминих В.В.	
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ УНІВЕРСАЛЬНИХ 3D-СИМУЛЯТОРІВ РОБОТІВ	68
Поддубняк І.А.	
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОРОЖНІХ МАШИН ЗА РАХУНОК СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ	73
Собіна С.С.	
ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПРИРОДНОЇ ВОДИ	76
Тимошенко Р.С.	
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ХІМВОДООЧИЩЕННЯ НА ТЕЦ З ВИКОРИСТАННЯМ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ	81
Тоболь Є.Р.	
АНАЛІЗ СЛІДКУЮЧИХ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ ПРИВОДІВ ДРОСЕЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ	85
Чала Г.В., Черевко Ф.А.	
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД	89
Чуб І.М., Данилова І.І.	

АНАЛІЗ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТОМ	93
Шаповал А.Р., Ємельянов В.В.	
ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА	97
Шматько О.В.	
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИНИ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ АЕРОДРОМІВ ЗА РАХУНОК GNSS ТЕХНОЛОГІЙ	99
Щур Р. М., Холенко Ю.С.	
АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ПИВОВАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ	103
Яріш В.Ю.	

СЕКЦІЯ 3 ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ТА ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ЗАСОБАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ	107
Гулак А.С., Піскаръов О.М.	
АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПРИВАТНИМИ МЕРЕЖАМИ	111
Кудінов Є.О.	
ТЕХНОЛОГІЯ INTERNET OF THINGS	116
Філь Н.Ю., Ніщерегов Д.О.	

СЕКЦІЯ 4 ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ НА ВИРОБНИЦТВІ ТА В ОСВІТІ

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ПОШУКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ	121
Бабенко В.О., Бутов В.П.	
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНА ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ДОКУМЕНТАЦІЄЮ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ	124
Бабенко В.О., Роздольський О.Ю.	

ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АРМ ДИСПЕТЧЕРА МАРШРУТІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ Вишневецький І.В., Белявський Д.О.	127
ІНТЕГРАЦІЯ MES-СИСТЕМИ В СУЧАСНІ ВИРОБНИЧІ ПІДПРИЄМСТВА: ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ Вінниченко С.О., Колесник Л.В.	131
ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ І МОДЕРНІЗАЦІЇ АВТОМОБІЛІВ В БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ Воронков С.В., Шевченко В.О., Дудукалов Ю.В	135
WEB-ОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ДІЯЛЬНОСТІ ТУРИСТИЧНОГО ГОТЕЛЮ ІЗ МЕХАНІЗМОМ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДАНИХ ІЗ ДЕКІЛЬКОХ ДЖЕРЕЛ Глуховцов Д.О., Антипенко В.П.	139
АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ЗВОРОТНОГО ІНЖИНІРИНГУ Єльніков В. А.	143
РОЗРОБКА ЗАСОБІВ СТВОРЕННЯ ВІРТУАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ Завада Д.О.	146
ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ У СИСТЕМІ КОМПЛЕКТАЦІЇ ВИРОБНИЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ Закладний В. І., Безкоровайний В. В.	151
ПЕРСПЕКТИВИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА Запорожцев С.Ю., Ніканоров О.А., Шоп'як Б.І.	155
ОЦИФРУВАННЯ РЕЛЬСФУ ДІЛЯНКИ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ Іванов Є.М	158
ОБРОБКА ДАНИХ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ТА ХМАРНІ СЕРВІСИ Іванов Є.М.	161
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРВІСУ ДЛЯ ПОШУКУ ВІЛЬНИХ МІСЦЬ НА ПАРКОВКАХ Карпук М.С.	164
ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ВИБОРУ СЕРВЕРІВ DATA- ЦЕНТРІВ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ Кононихін О.С., Дмитрук М.С.	168

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИБОРУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ НА ПОДАЛЬШУ МОЖЛИВІСТЬ МАСШТАБУВАННЯ ТА РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ Кононихін О.С., Матвеев П.П.	171
ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО РОЗВИТКУ НА СТРАТЕГІЇ ВИБОРУ ТА ОНОВЛЕННЯ МЕРЕЖЕВОГО ОБЛАДНАННЯ В ОФІСАХ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ Кононихін О.С., Прачик В.А	174
АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ АРХІТЕКТУР ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ GPS-МОНІТОРИНГУ В АВТОМОБІЛЬНІЙ ІНДУСТРІЇ Кононихін О.С., Сухомлінов В.К.	177
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ДОДАТКОВИХ СЕНСОРІВ ТА ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ У КОМБІНАЦІЇ З GPS ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ БУЛЬДОЗЕРІВ. Корольов В.М., Корольов В.М.	181
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЩОДЕННОГО ПЛАНУВАННЯ Коротич К.О., Колесник Л.В.	184
ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИБОРУ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ Кудирко С.С.	189
ПРО КОМП'ЮТЕРНИЙ ІНЖИНІРИНГ У МАШИНОБУДУВАННІ Кухаренко В.М.	193
РОЗРОБКА КОМПОНЕНТУ СИСТЕМИ ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ «КАТАЛОГ ОДЯГУ» Куценко А.В., Колесник О.Б	198
РОЗРОБКА КОМПОНЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ E-LEARNING Лактіонова А.О., Безкоровайний В. В.	202
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНО ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ МІСТА Мізяк І. О.	207
ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕДОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІД ЧАС ВИКЛАДАННЯ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН Лебединський А.В., Кочура І.О.	211

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ Лебединський А.В., Сілантьєв Е.Е.	214
РОЗРОБКА КОМПОНЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ДІЯЛЬНОСТІ ЗАКЛАДУ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ Обривко Є.В., Колесник О.Б.	217
ІНТЕГРАЦІЯ MONGODB ТА NODE.JS: СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ ВЕБ-ДОДАТКІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ПРОМИСЛОВОЇ КОМПАНІЇ Олінкевич Я.В., Колесник Л.В.	220
АНАЛІЗ ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДОКУМЕНТООБІГУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ Петренко Ю.А., Жабін О.Ю.	224
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОРИЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ PASSWORD АУТЕНТИФІКАЦІЇ В ВЕБ ЗАСТОСУНКАХ Плехова А.А., Окушко О.	228
ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ОНЛАЙН ПОКУПКИ ПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ Руденко М.О., Колесник О.Б.	234
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ДОВІЛЬНИХ ЛОГІЧНИХ СХЕМ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ Сезонова І.К., Білецький П.М.	238
РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ РОБОТИЗОВАНИМИ ПЛАТФОРМАМИ В ДИНАМІЧНОМУ ВИРОБНИЧОМУ ПРОСТОРИ Сезонова І.К., Потапчук А.Ф.	241
РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА БОРОШНА Столяров О. В., Панов А. О.	244
СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ АВТОГІДРОПІДЙОМНИКА ДЛЯ ДЕМОНТАЖНИХ РОБІТ Філь Н.Ю., Жеретєєв А.О.	249
СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИНИ Функендорф В.В.	253
ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ЛОГІСТИЧНОЇ МЕРЕЖІ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ Чернищенко О. В., Безкоровайний В. В.	257

КЛІЄНТ-СЕРВЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИБОРУ МАЛОТОННАЖНОЇ ВАНТАЖІВКИ Юнашев Д. С., Льге І. Г., Савчук Б. Є.	261
РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙПРОМЕРЕЖ Плехова А.А., Яворський С.О.	264
BIG DATA ANALYTICS: ASPECTS OF APPLYING IN INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS Babenko V.O., Drozdyk Ye.V.	269
USING THE ARCHITECTURE AND APPROACHES OF CLOUD COMPUTING IN LOGISTIC SYSTEMS Babenko V.O., Kanishov V.I.	273
OVERVIEW AND COMPARISON OF CLOUD SERVICE MODELS Babenko V.O., Kovtun Ye.S.	276

СЕКЦІЯ 5

УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМАМИ ТА ПРОЕКТАМИ, ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПІДБОРУ ТА РОЗПОДІЛУ РЕКОМЕНДОВАНИХ КУРСІВ ПРАЦІВНИКАМ ІТ-КОМПАНІЇ Батраченко В.О. , Колесник Л.В.	280
ДЕКОМПОЗИЦІЯ ПРОЦЕДУРИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЄКТУВАННЯ РОБОТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ Готовська А. В., Безкоровайний В. В.	285
МОДЕЛЬ ВИБОРУ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ СТВОРЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ВІДЕОКОНТЕНТУ Льге О.І., Нефьодов Л.І	290
КРИТЕРІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИБОРУ ЗАПЧАСТИН ДЛЯ ВАНТАЖІВОК В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ Льге І.Г., Курашов К.О., Запорожцев С.Ю.	294
ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ У ПРОЄКТНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ З РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ Петренко Ю.А., Бугаєвський М.С.	297
КРИТЕРІЇ ВИБОРУ САМОХІДНИХ ДОРОЖНІХ КОТКІВ Тимошенко І.С., Льге І.Г.	302

РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ ДЛЯ ОНЛАЙН КУПІВЛІ ВІДЕО-ІГОР	305
Хомсі Как С.М., Колесник Л.В.	
АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	310
Цимух І.Р.	
АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ВИБОРУ ДОРОЖНІХ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН	317
Бондарев О.О.	

УДК 004

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ УНІВЕРСАЛЬНИХ 3D-СИМУЛЯТОРІВ РОБОТІВ*Поддубняк І.А.**Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків*

З розвитком галузі робототехніки поширилися й різновиди роботів, яких треба моделювати у симуляціях. Через це важливо мати знання про сучасні перевірені програмні середовища тривимірних симуляцій робототехніки – так можна уникнути таких проблем, що виникають при виборі симуляторного середовища, де обране програмне забезпечення (ПЗ) несподівано виявляється не сумісним: з метою проекту розробки, з наявними навичками розробника, з робочим апаратним забезпеченням розробника тощо [1].

Отже, метою стає аналіз сучасного ПЗ для симуляції функціонування роботів – як надає уяву огляд літератури з галузі моделювань для робототехніки, на рівні нескладного впровадження базових апаратної [2] [3] [4], програмної [5] та додаткової частин симуляції [6], симуляторні середовища не мають істотної різниці в виведенні результатів спільного вигляду [7], але на рівні розробки комплексних проектів виникають розгалуження в можливостях та обмеженнях серед симуляторних ПЗ, про які розробникам та дослідникам варто знати [8].

В таблицях 1 та 2 приведено назви та властивості програмних середовищ робототехнічних симуляцій, які використовуються для розробок [9] [10].

На основі додаткових досліджень, що використовувалися в аналізі [11] [12] [13] [14] [15], в результаті можна звести порівняльні висновки для кожного симуляційного ПЗ.

Gazebo, завдяки інтеграції структури пакету програмної розробки ROS2 (Robot Operating System 2), є найоптимальнішим для праці одночасно з модельованою та апаратною частинами однієї робототехнічної системи.

Gazebo Ignition – окрема версія Gazebo на такому модульному принципі виконання, який дозволяє легко змінювати програмні компоненти самого симуляторного ПЗ. Єдиний істотний недолік – проблеми моделювання пружності.

Таблиця 1 – Базові дані властивостей сучасних симуляційних ПЗ

Назва	Мова програмування	Операційна система	Підтримка безмоніторного (headless) функціонування
Gazebo	C, C++, Python	Linux, macOS, Windows	Вбудована
Gazebo Ignition	C++, Python	Linux, macOS, Windows	Вбудована
WeBots	C, C++, Python, Java, MATLAB	Linux, macOS, Windows	Зовнішня
Isaac Sim	C++	Linux	Вбудована
Project Chrono	C++, Python	Linux, macOS, Windows	Вбудована
PyBullet	Python	Linux, macOS, Windows	Вбудована
CoppeliaSim (V-REP)	C, C++, Python, Java, Lua, MATLAB, Octave	Linux, macOS, Windows	Вбудована
MuJoCo	C	Linux, macOS, Windows	Вбудована
ARGoS	Lua, C++	Linux, macOS, Windows	Вбудована

Таблиця 2 – Додаткові дані властивостей сучасних симуляційних ПЗ

Назва	Фізичний рушій	Відкритий доступ	Підтримка ROS2	Підтримка машинного навчання
Gazebo	Bullet, DART, ODE, Simbody	Так	Так	Зовнішня
Ignition	DART	Так	Так	Зовнішня
WeBots	ODE	Так	Так	Зовнішня
Isaac Sim	PhysX	Ні	Так	Вбудована
Project Chrono	Chrono::Engine	Так	Так	Зовнішня
PyBullet	Bullet	Так	Так	Зовнішня
CoppeliaSim (V-REP)	Bullet, Newton, ODE, Vortex Dynamics	Ні	Так	Зовнішня
MuJoCo	MuJoCo	Так	Ні	Зовнішня
ARGoS	ODE, 3D particle engine, 2D-dynamics open-source physics engine library Chipmunk, 2D-kinematics engine	Так	Ні	Вбудована

WeBots підтримує кілька мов кодування та кілька типів симулювань сенсорів, має нескладний але повнофункціональний користувацький інтерфейс, гарну оптимізацію та точність довгого симулювання. Деякі відсутні функціональності WeBots є

адресованими користувацькими доповненнями (такими як DeepBots для машинного навчання та WeBots.HPC для паралельних симуляцій у «headless» режимі).

Isaac Sim має сумісність з найсучаснішими методами та інструментами машинного навчання для роботів (через програмне розширення Isaac Gym), але працює тільки на відеокартах NVIDIA та тільки з певними стабільними версіями ОС типу Ubuntu.

Project Chrono – орієнтований на робототехніку в симульованих середовищах складних фізичних, динамічних та кінематичних процесів з вбудованою підтримкою функціоналу для елементів середовища типу піску, води та гравію. Підтримка ROS2 є можливою через зовнішнє ПЗ.

PyBullet більш підходить саме для досліджень з робототехніки та машинного навчання. PyBullet працює на клієнтській архітектурі, яка дозволяє легко виконувати паралельні симуляції, та PyBullet має функціональні можливості прямої та зворотної кінематики, середовища машинного навчання з підкріпленням, інтеграції віртуальної реальності, моделювання об'єктів з деформацією та моделювання тканини..

Комерційний CoppeliaSim може бути порівняний з більш точним та оптимізованим WeBots з відкритим кодом, але в першого є свої переваги в підтримці набору інструментів PyRep Python для навчання роботів.

MuJoCo відносно легкий в освоєнні та дозволяє виконувати швидкі розробки керувань з машинним навчанням, але не має таких функціональних можливостей, які мають існуючі середовища симуляцій з відкритим кодом.

ARGoS не є високоточним для задовільного моделювання одиничних роботів, але добре підходить для моделювання великомасштабних зграй роботів з кількома задіяними моделями роботів.

Через різноманітність у функціоналі симуляторних середовищ, що проаналізовані, існують і випадки, коли розробникам доводиться поєднувати використання кількох симуляторів для одної робототехнічної системи, але, з поточними розробками пакетів симуляторного ПЗ, такі методи можуть стати непотрібними, що може бути виявлено у подальших робіт з аналізу цієї галузі.

Література:

1. Afzal, D. S. Katz, C. L. Goues, and C. S. Timperley, “A Study on the Challenges of Using Robotics Simulators for Testing,” *arXiv:2004.07368 [cs]*, 2020.
2. K. Liu and D. Negrut, “The Role of Physics-Based Simulators in Robotics,” *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 35–58, 2021.
3. J. Yoon, B. Son, and D. Lee, “Comparative Study of Physics Engines for Robot Simulation with Mechanical Interaction,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 2, p. 680, 2023, doi.
4. Q. L. Lidec, W. Jallet, L. Montaut, I. Laptev, C. Schmid, and J. Carpentier, “Contact Models in Robotics: a Comparative Analysis,” *arXiv.org*, 2023.
5. J. Liu, P. Borja, and C. Della Santina, “Physics-informed Neural Networks to Model and Control Robots: a Theoretical and Experimental Investigation,” *arXiv*, 2023.
6. J.-L. Blanco-Claraco, B. Tymchenko, F. J. Mañas-Alvarez, F. Cañadas-Aránega, Á. López-Gázquez, and J. C. Moreno, “MultiVehicle Simulator (MVSIM): Lightweight dynamics simulator for multiagents and mobile robotics research,” *SoftwareX*, vol. 23, pp. 101443–101443, 2023.
7. Farley, J. Wang, and J. A. Marshall, “How to pick a mobile robot simulator: A quantitative comparison of CoppeliaSim, Gazebo, MORSE and Webots with a focus on accuracy of motion,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 120, pp. 102629–102629, 2022.
8. Phadke, F. A. Medrano, C. N. Sekharan, and T. Chu, “Designing UAV Swarm Experiments: A Simulator Selection and Experiment Design Process,” *Sensors*, vol. 23, no. 17, p. 7359, 2023.
9. F. P. Audonnet, A. Hamilton, and G. Aragon-Camarasa, “A Systematic Comparison of Simulation Software for Robotic Arm Manipulation using ROS2,” *IEEE Xplore*, pp. 755–762, 2022.
10. Elmquist *et al.*, “A software toolkit and hardware platform for investigating and comparing robot autonomy algorithms in simulation and reality,” *arXiv (Cornell University)*, 2022.

11. Z. Chen, J. Yan, B. Ma, K. Shi, Q. Yu, and W. Yuan, “A Survey on Open-Source Simulation Platforms for Multi-Copter UAV Swarms,” *Robotics*, vol. 12, no. 2, pp. 53–53, 2023.
12. Y. Wang and H. Kasaei, “IPPO: Obstacle Avoidance for Robotic Manipulators in Joint Space via Improved Proximal Policy Optimization,” *arXiv (Cornell University)*, 2022.
13. J. Collins, S. Chand, A. Vanderkop, and D. Howard, “A Review of Physics Simulators for Robotic Applications,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 51416–51431, 2021.
14. M. Körber, J. Lange, S. Rediske, S. Steinmann, and R. Glück, “Comparing Popular Simulation Environments in the Scope of Robotics and Reinforcement Learning,” *arXiv:2103.04616 [cs]*, 2021.
15. M. Franchi, “Webots.HPC: A Parallel Robotics Simulation Pipeline for Autonomous Vehicles on High Performance Computing,” *arXiv (Cornell University)*, 2021.

ДОДАТОК Г

Висвітлення результатів кваліфікаційної роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ


ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ



МАТЕРІАЛИ
V ФОРУМУ
**«Автоматизація, електроніка та
робототехніка. Стратегії розвитку та
інноваційні технології»**
AERT-2023

29 - 30 листопада 2023 р.

Харків 2023



Збірник матеріалів V форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2023. – Харків, ХНУРЕ, 2023. – 149 стр.

В збірник включені матеріали V форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2023.



V форум «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2023 проведено кафедрами:



- мікропроцесорних технологій і систем (MTC),



- комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (KITAP).

Видання підготоване
кафедрою мікропроцесорних технологій і систем (MTC)
Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ)

61166 Україна, Харків, просп. Науки, 14

Тел. +38 (057) 755 0220

E-mail:

iryna.svyd@nure.ua

© Харківський
національний університет
радіоелектроніки (ХНУРЕ), 2023

КОМІТЕТ ФОРУМУ

Голова комітету форуму:

Романенков Ю.О. д.т.н., проф., проректор з наукової роботи ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

Програмний комітет форуму:

Свид І.В. к.т.н., доц., зав. каф. МТС ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

Обод І.І. д.т.н., проф., проф. каф. МТС ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

Новоселов С.П. к.т.н., доц., проф. каф. КІТАР ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

Воргуль О.В. к.т.н., доц., доц. каф. МТС ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

Зубков О.В. к.т.н., доц., доц. каф. МТС ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

Горелов Д.Ю. к.т.н., доц., доц. каф. КРiCTЗi ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

Сичова О.В. к.т.н., доц. каф. КІТАР ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

Секретаріат комітету форуму:

Теслюк С.І. старший викладач каф. КІТАР ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

Чумак В.С. асистент каф. МТС ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

Бойко Н.В. завідувач лабораторії каф. МТС ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

АНАЛІЗ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В СУЧАСНИХ СИМУЛЯТОРАХ РОБОТІВ

студент Поддубняк І.А., доцент, д.т.н., Цимбал О.М.

Харківський національний університет радіоелектроніки,
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та
робототехніки, м. Харків, Україна
e-mail: illia.poddubniak@nure.ua, oleksandr.tsymbal@nure.ua

Abstract. As one of the fields of emerging technologies of Industry 4.0 and Industry 5.0, robotics received tremendous advancements thanks to integration of latest hardware and software, such as high-fidelity cameras and computer vision systems. Sensory input from cameras can be a rich data source of information for computer vision of robotic systems, and, with the need to minimize risks and expenses involved with testing robots in real world, functional principles of cameras also found their use in robotics simulation environments. This work investigates the current state of utilization of computer vision in modern robotics simulator environments.

Ключові слова: робототехніка, робот, комп'ютерний зір, симуляція, моделювання.

Вступ. Будучи частиною сфери новітніх технологій Industry 4.0 та Industry 5.0, робототехніка досягла значних розвинень завдяки інтеграції такого сучасного апаратного та програмного забезпечення, як якісні камери та системи комп'ютерного зору. Щоб взаємодіяти з реальним світом, роботам потрібні різноманітні дані про їх оточення – зір є ефективним способом збору таких даних, тому камери та обробка даних з них знайшли широке розповсюдження в робототехніці. А через необхідність в мінімізації ризиків і витрат, пов'язаних з тестуванням роботів у реальному світі, комп'ютерний зір для робототехніки також знайшов свою нішу і у середовищах симуляції функціоналу роботів.

У цій роботі досліджується поточний стан галузі використання комп'ютерного зору в сучасних пакетах програмного забезпечення (ПЗ) робототехнічних симуляторів.

Основна частина. Як показують результати аналізу публікацій з галузі, дослідники та розробники мають успіх для використання симуляцій для впровадження дій що відповідають цілям застосування роботів, станам роботів та таких даних про середовища навколо роботів, що отримуються з камери. Це стосується й успіху у розробці процесів, які були перевірені й на апаратних виконань роботів, що були модельовані: виявлення цілі, відстеження цілі, пошук шляху, маніпуляція об'єктом, прогнозування майбутніх станів за необробленими сенсорними показаннями, автономне приземлення, контроль групи роботів у формації лідер-послідовник, оцінка погляду, оцінка руху, точна взаємодія з руками людини тощо [1].

Більшість моделювань, процеси яких названо вище, мали спрощені вигляди рендерінгу об'єктів, але результати моделювання з них мали продуктивні співвідношення з результатами використання роботів у справжньому виконанні, де камери вловлювали зображення саме реальних середовищ. З точки зору застосування симуляцій, успіхи таких типів є можливими завдяки особливостям ходу обробки зображень в програмній частині комп'ютерного зору – як зазначено публікаціями з галузі [2-3], це пов'язано з тим, що, для більшості цілей розробок, видима фотографічна реалістичність відображення симуляцій має другорядне значення – для правильних програмних опрацювань систем комп'ютерного зору, для знятих зображень потрібний саме реалізм даних, який не обов'язково має повне співвідношення з фотореалізмом.

Першорядність реалізму даних варто пам'ятати та враховувати при оцінюванні рівня потреб у апаратному забезпеченні, що буде проводити рендерінг для розробника, бо фотореалістичний рендерінг вимагає більш потужних та коштовних апаратних компонентів.

Для подальшого аналізу необхідно окреслити різновиди камер, що використовуються у робототехніці – вони приведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Типові види камер, що використовуються в робототехніці для комп'ютерного зору

Пристрій	Тип знімання	Приклади застосування
Камера RGB	Зображення з широким діапазоном кольорів за низької вартості	Виявлення об'єктів
Камера дальнісного зображення	Поєднання RGB зображень з даними відстані з далекоміру	Система керування з точною взаємодією з людиною
Стереокамера	Імітація двоокого зору людини кількома лінзами	Навігація роботів зі спрощеним розпізнаванням об'єктів
Ендоскопічні, мікроскопічні камери	Роздільні зображення у важкодоступних місцях	Керування мікророботами та роботами з м'якими компонентами
Монокулярна камера	Цілісні зображення з широким полем зору за низької вартості та маленької ваги	Відстеження цілі, швидкий аналіз місцевості «сферичними зображеннями»
Інфрачервона (IR) камера	Знімання зображень за IR випромінюванням	Перевірка на перегрівання, нічний зір, відстеження очей по IR відблиску

Щодо обмежень застосувань камер, варто зазначити, що, у порівнянні з датчиками зображення, людська зорова система більш чутлива та краще здатна до адаптацій – штучний датчик зору не зможе надійно виявляти

об'єкти, якщо середовище піддається впливу незвичайного освітлення. Але для проблеми освітлення є багато рішень, які можна впроваджувати у апаратне виконання та моделювати у симуляційному ПЗ з оновленнями:

- застосування активного освітлення, джерело якого може бути вбудоване в сам датчик зору;
- застосування IR освітлення та камери;
- застосування фіксованого освітлення навколишнього середовища;
- застосування додаткових оптичних технологій, які використовують світло іншими методами, наприклад LIDAR.

Отже, відповідно особливостей використання комп'ютерного зору для реалістичного розв'язання різних задач робототехніки на рівні симуляцій, можна привести такі пакети ПЗ симуляцій, що відповідають різним функціональним вимогам у галузі [3-9]:

- Project Chrono (через Chrono::Sensor) – підтримка RGB, мап глибин, LIDAR. Краще орієнтований на комплексні фізичні симуляції типу багатокомпонентних транспортів, ґрунту, температур тіл тощо;
- Webots – підтримка RGB, датчику відстані, вимірювача відстані, LIDAR. Краще орієнтований на універсальність, оптимізоване використання комп'ютерних ресурсів та простоту використання;
- Gazebo (та Gazebo Ignition) – підтримка RGB, термальної камери, датчиків відстані, мап глибин, LIDAR. Краще орієнтований на інтеграцію ROS2 (що, серед іншого, необхідно для паралельної роботи між симульованим та апаратним виконанням роботи);
- MuJoCo (через OpenAI Gym) – підтримка RGB, IR, датчику відстані, мап глибин, LIDAR. Орієнтований на машинне навчання;
- NVIDIA Isaac Sim – підтримка RGB, IR, LIDAR. Орієнтований на машинне навчання та фотореалізм рендерінгу;
- CoppeliaSim (V-REP) – підтримка RGB, IR, LIDAR. Орієнтований на простоту використання та універсальність;
- PyBullet – підтримка RGB, мап глибин, LIDAR. Орієнтований на машинне навчання та комплексні фізичні симуляції (наприклад, м'які об'єкти).

Варто зазначити, що симуляція стереоскопічних камер, камер с широким кутом огляду, камер-далекомірів та камер зі змінним масштабуванням є можливою й непрямими способами – наприклад, використання кількох камер для стереоскопічної камери, зміна параметрів масштабування та куту огляду для змінної камери та ширококутової камери, використання значень позицій об'єктів симуляції чи використання модулів далекомірів (чи LIDAR) для поєднання з модулем камери для отримання камери-далекоміра тощо.

Так як центр прийняття зображень камер в симуляціях – це абстрактна точка в координатах, то можна моделювати роботу камери будь-яких габаритів та апаратних виконань – обмеження існують тільки на рівні

результатів оптичних принципів роботи, які можна відобразити у симуляції.

Висновки. Під час вибору сучасного симуляційного ПЗ, розробнику варто пам'ятати як особливості використання камер та комп'ютерного зору у симуляціях, так й те, що різні середовища мають свої відмінності як в плані типів камер, симуляції яких можуть бути підтримані, так й в плані загальних можливостей моделювання різних процесів, на яких будуть опиратись розроблені системи комп'ютерного зору. З подальшими розробками пакетів симуляційного ПЗ, відмінності між їх інтеграціями комп'ютерного зору можуть зменшитися, а функціонал – розширитися.

Список використаних джерел.

1. M. T. Shahria, M. S. H. Sunny, M. I. I. Zarif, J. Ghomman, S. I. Ahamed, and M. H. Rahman, “A Comprehensive Review of Vision-Based Robotic Applications: Current State, Components, Approaches, Barriers, and Potential Solutions,” *Robotics*, vol. 11, no. 6, p. 139, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/robotics11060139>.

2. A. Elmquist, R. Serban, and D. Negrut, “Camera simulation for robot simulation: how important are various camera model components?,” arXiv (Cornell University), Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2211.08599>.

3. A. Elmquist, R. Serban, and D. Negrut, “A Sensor Simulation Framework for Training and Testing Robots and Autonomous Vehicles,” *Journal of Autonomous Vehicles and Systems*, vol. 1, no. 2, Feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.1115/1.4050080>.

4. M.-A. Blais and M. A. Akhloufi, “Reinforcement learning for swarm robotics: An overview of applications, algorithms and simulators,” *Cognitive Robotics*, vol. 3, pp. 226–256, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cogr.2023.07.004>.

5. Z. Chen, J. Yan, B. Ma, K. Shi, Q. Yu, and W. Yuan, “A Survey on Open-Source Simulation Platforms for Multi-Copter UAV Swarms,” *Robotics*, vol. 12, no. 2, pp. 53–53, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/robotics12020053>.

6. V. Křivánek, V. Starý, and Y. Bergeon, “Optical Sensor Placement Optimization for Unmanned Ground Vehicles by the Simulation,” in *IEEE Xplore*, IEEE, Jul. 2023. doi: <https://doi.org/10.1109/icmt58149.2023.10171309>.

7. T.-W. Kang, J.-B. Yi, D. Song, and S. Yi, “High-Speed Autonomous Robotic Assembly Using In-Hand Manipulation and Re-Grasping,” *Applied sciences*, vol. 11, no. 1, pp. 37–37, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/app11010037>.

8. A. Ma'arif, A. A. Nuryono, and Iswanto, “Vision-Based Line Following Robot in Webots,” in *IEEE Xplore*, IEEE, Nov. 2020, pp. 24–28. doi: <https://doi.org/10.1109/FORTEI-ICEE50915.2020.9249943>.

9. A. S. Priambodo, F. Arifin, A. Nasuha, Muslikhin, and A. Winursito, “A Vision and GPS Based System for Autonomous Precision Vertical Landing of UAV Quadcopter,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2406, no. 1, p. 012004, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2406/1/012004>.

ДОДАТОК Д

Висвітлення результатів кваліфікаційної роботи

Міністерство освіти і науки України



NURE

Харківський національний університет
радіоелектроніки

ЗБІРНИК

студентських наукових статей

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2023

(Випуск 2)

[електронне видання]



<http://nure.ua/department/kafedra-komp-yuterno-integrovanih-tehnologiy-avtomatizatsiyi-ta-mehatroniki-kitam>



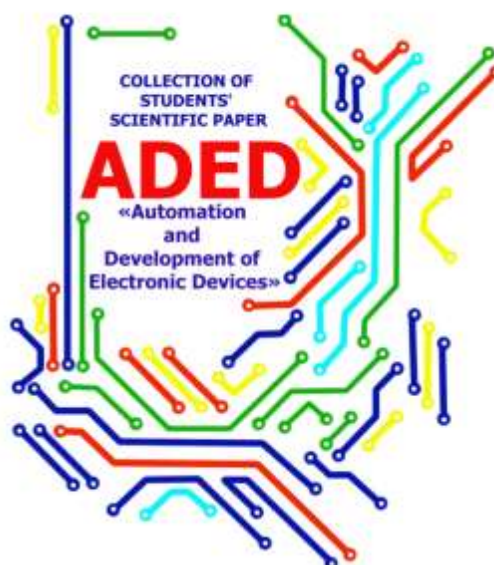
<http://itez.zntu.edu.ua/>



<http://kafea.kdu.edu.ua>

Харків 2023

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(КІТАР)



ЗБІРНИК

студентських наукових статей

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2023

(Випуск 2)

[електронне видання]

Харків 2023

Головий редактор	Невлюдов Ігор Шакирович , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
Редакційна колегія:	<p>Филипенко Олександр Іванович, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.</p> <p>Цимбал Олександр Михайлович, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.</p> <p>Андрусевич Анатолій Олександрович, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету</p> <p>Косенко Віктор Васильович, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємства «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».</p> <p>Замірець Микола Васильович, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.</p> <p>Свищ Володимир Митрофанович, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».</p> <p>Фомовська Олена Владиславівна, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.</p> <p>Кухаренко Дмитро Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського</p> <p>Демська Наталія Павлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.</p> <p>Фурманова Наталія Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, в.о. декана факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».</p>
Відповідальний редактор:	Євсєєв Владислав В'ячеславович , доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – Вип. 2. – 408с.

Collection of Students' Scientific Paper «Automation and Development Of Electronic Devices» ADED-2023 Part 2 (Key infrastructure 2023) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2023. – 408p with.

Рекомендовано рішенням
Науково-технічної ради
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради
факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол № 4 від 30.11.2023

Збірник містить наукові статті здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія. Статті надані в авторській редакції.

©ХНУРЕ, 2023 рік

ЗМІСТ

<i>Я.І. Халімонов</i>	
Перспективи: Автоматизації вимірювання умов у житлових та робочих приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих рішень	9
<i>Є.Ю. Гавриков, А.Я. Осман</i>	
Дослідження технологій виробництва деталей на 3D принтері	12
<i>А.С. Андреев</i>	
QR-коди в науці та техніці	17
<i>Ф. Курьота</i>	
Development of Automated Environmental Control System for Portable Greenway Section .	23
<i>К.К. Стеценко</i>	
Моделювання BEAM-робота в середовищі TINKERCAD	27
<i>О.В. Удовиченко</i>	
Вплив розвитку штучного інтелекту на комп'ютеризовані та робототехнічні системи ..	30
<i>Б.О. Чеснаков</i>	
3D моделювання роботизованої платформи для гуманітарного розмінуванні	33
<i>Є.В. Шевченко</i>	
Розробка кіберфізичної системи моніторингу технологічних процесів на виробництві .	37
<i>Є.О. Єфімік</i>	
Розроблення концепт макету малогабаритного мобільного робота підвищеної прохідності	44
<i>М. Манічкін</i>	
Аналіз кінематики та розробка моделі розрахунків елементів матриці гомогенних перетворень для зооморфного мобільного робота	49
<i>М.М. Моргунов</i>	
Розробка методу передачі інформації всередині статичного зображення для мобільних роботів	55
<i>Є.С. Ключник</i>	
Аналіз систем автоматизованого свердління у Industry 4.0	61
<i>О.Д. Юрченко</i>	
Розроблення системи моніторингу роботи засобів виробництва та персоналу приладобудівного приміщення з використанням ESP32-CAM	66
<i>М.О. Бендеберя</i>	
Розробка алгоритмічно-функціональної моделі робота маніпулятора на базі ABB Robot Studio	74
<i>І.В. Балабанов</i>	
Визначення залежності часу та інтенсивності випромінювання на температуру фотополімерної смоли	79
<i>М.Д. Лисун</i>	
Аналіз кінематик 3D принтерів за технологією FDM/FFF	83
<i>С.В. Шматко</i>	
Аналіз сучасних роботів телеприсутності, як людського помічника	87
<i>І.С. Коваленко</i>	
Перспективи розвитку повітряної робототехніки	92
<i>М.С. Лубінець</i>	
Розроблення методу прокладення траєкторії руху робота-сапера на основі даних від металошукача	97

<i>О.О. Рак</i>	
Розробка автоматизованого модуля моніторингу параметрів об'єктів критичної інфраструктури	104
<i>О.І. Черненко</i>	
Автоматизація процесу сортування деталей на виробництві	109
<i>О.А. Тищенко</i>	
Моделювання пристрою позиціонування вантажного робота	114
<i>В.О. Веснянка</i>	
Розроблення інформаційної системи для оптимізації бізнес-процесів закладу харчування	121
<i>Ю.А. Бердник</i>	
Аналіз сучасних автономних роботизованих платформ	126
<i>М.В. Звєгінцев</i>	
Розробка модуля позиціонування сонячних панелей	133
<i>Д.Д. Лещенко</i>	
Моделювання руху маніпулятора робота з використанням динамічної ланки з прямою та зворотною кінематикою	138
<i>П.М. Савченко</i>	
Огляд датчиків положення для обладнання, що працює в умовах аварійних відключень електроживлення	142
<i>П.М. Савченко</i>	
Створення сучасних систем управління з застосуванням мікропроцесорної техніки та засобів автоматизації	148
<i>Є.Р. Васильченко</i>	
Огляд принципів побудови пожежно-охоронної системи	153
<i>А.Д. Єчевський</i>	
Система моніторингу та управління параметрами мікроклімату в офісних приміщеннях	159
<i>А.І. Конєва</i>	
Перспективи розвитку безпілотних систем	164
<i>В.І. Фомін</i>	
Використання робототехнічних систем з елементами штучного інтелекту в приладобудуванні	171
<i>В.І. Фомін</i>	
Застосування 3D-друку у виробництві та промисловості	177
<i>О.В. Чернишенко</i>	
Оптимізація маршрутів в логістичних мережах виробничого процесу	182
<i>Р.Р. Шаталюк</i>	
Використання віртуальної та доповненої реальності для навчання та симуляцій у робототехніці	188
<i>Р.Р. Шаталюк</i>	
Програмування мікроконтролерів для автоматизації систем	193
<i>Т.А. Лихо</i>	
Вибір обладнання для розробки мобільного робота для відеонагляду	197
<i>В.О. Александров</i>	
Безпілотні літальні апарати. види, технічні особливості, автоматизація	203
<i>С.О. Вінниченко</i>	
Еволюція виробництва: Роль MES-системи у оптимізації та контролі промислових	208

процесів на підприємстві	
<i>А.В. Готовська</i>	
Підтримка прийняття рішень в технології проєктування роботизованого виробничого процесу	213
<i>Я.В. Олінкевич</i>	
Впровадження egr-системи на виробництві	219
<i>М. Коваленко</i>	
Схема керування транспортними роботами на основі візуальних ознак	223
<i>В.К. Маковецька</i>	
Контейнеризація та оркестрація: DOCKER та KUBERNETES	228
<i>Д.Р. Придятько</i>	
Огляд методів розпізнавання об'єктів за допомогою систем технічного зору	234
<i>А.А. Большаков</i>	
Розроблення архітектури SCADA-системи гнучкого виробництва та вибір апаратних засобів	239
<i>В.С. Головіна</i>	
Розроблення системи керування мобільним пошуково-рятувальним роботом	244
<i>Д.В. Мілько</i>	
Дослідження програмного методу визначення відстані до об'єкту за допомогою параметрів камери	250
<i>І.А. Манякін</i>	
Аналіз методів автоматичного розпізнавання осіб	254
<i>Ю.С. Візір</i>	
Автоматичне енергоефективне управління освітленістю з використанням кіберфізичних підходів в умовах виробництва	259
<i>В.І. Дульський</i>	
Методи оптимізації керуючих програм для верстатів з ЧПУ	264
<i>М.С. Карпов</i>	
Використання бездротових мереж для організації контролю в промисловості	269
<i>М.А. Пісков</i>	
Алгоритми створення та оптимізації розкладу для загальноосвітніх навчальних закладів	275
<i>А.Ю. Губарь</i>	
Веб-додаток для моніторингу та управління запасами в 3D-друкарні	281
<i>І.А. Поддубняк</i>	
Аналіз сучасних візуальних SLAM систем в робототехніці	286
<i>Д.П. Редько</i>	
Технології транспортування вибухонебезпечних предметів за допомогою роботизованого пристрою	292
<i>В.О. Заїкін</i>	
Роботизовані системи та їх застосування у інноваційних методах виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів	296
<i>К.О. Вадурін, А.С. Шандро</i>	
Розробка структури інформаційно-аналітичної система для збору, обробки та аналізу даних щодо використання енергетичних ресурсів багатоповерховою будівлею	302
<i>Є.М. Гриценко</i>	
Аналіз систем контролю виготовлення 3D деталей на потоковому роботизованому виробництві	309

<i>В.А. Савін</i>	
Класифікація роботизованих систем для пошуку вибухонебезпечних предметів	319
<i>М. Збітнєв</i>	
Аналіз мобільних робототехнічних платформ для гуманітарного розмінування	329
<i>В.А. Сторожук В.А., М.А. Вісковатов</i>	
Розробка інтелектуального модуля для моніторингу параметрів на базі ПоТ	334
<i>М.В. Толстий</i>	
Аналіз методів намотування дротів на станках з ЧПУ у роботизованому виробництві .	340
<i>В.В. Цешевський</i>	
Огляд сучасних конструктивних схем роботів для переміщення сходами	354
<i>О.О. Зибенко</i>	
Інновації та досягнення в електророзробній обробці: формування комп'ютерно-інтегрованого виробництва	356
<i>К.О. Левченко</i>	
Моделювання автоматизованого комплексу безтарного сховища сировини	361
<i>О.Д. Нікулін</i>	
Конвеєрні технології та автоматизація у аддаитивному виробництві	364
<i>Д.В. Пархоменко</i>	
Аналіз систем інжекції з'єднувальної речовини у технології 3D друку 3DP	370
<i>К.Є. Скрипник</i>	
Моделювання та розрахунок дозування пластику у шнековому екструдері	374
<i>С.Ю. Мірошніченко</i>	
Автоматизована система управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів	381
<i>В.Є. Тараненко</i>	
технологія екструзійного 3D друк без підтримок	386
<i>Є.О. Зуєв, М.Ю. Лучанінов</i>	
Дослідження методів автономного позиціонування та навігації робототехнічних мобільних платформ	390
<i>О.С. Пащенко, К.О. Зозуля</i>	
Сучасне виробництво з використанням комп'ютерного управління та інформаційних технологій	394
<i>Є.Г. Федосєєв</i>	
Аналіз методів імітаційного моделювання технологічних процесів складання	401
<i>К.С. Редькін</i>	
Локальна навігація мобільного робота в приміщенні	404

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ВІЗУАЛЬНИХ SLAM СИСТЕМ В РОБОТОТЕХНІЦІ**I.A. Поддубняк**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: illia.poddubniak@nure.ua

Анотація: У даній статті проаналізовані та описані сучасні методи візуальної одночасної локалізації та картографування – V-SLAM. В результаті були окреслені основні принципи та критерії V-SLAM та сучасні методи й впровадження функцій V-SLAM. Аналіз надає специфічні уявлення про напрями розробки, обмеження та можливості V-SLAM для робототехнічних систем.

Ключові слова: робототехніка, комп'ютерний зір, SLAM, V-SLAM, картографування.

ANALYSIS OF MODERN VISUAL SLAM SYSTEMS IN ROBOTICS**I. Poddubniak**

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14

E-mail: illia.poddubniak@nure.ua

Annotation: This article analyzes and describes modern methods of visual simultaneous localization and mapping - V-SLAM. As a result, the main principles and criteria of V-SLAM and modern methods and implementation of the V-SLAM function were defined. The analysis provides distinct findings about the directions of developments, capabilities and limitations of V-SLAM for robotic systems.

Key words: robotics, computer vision, SLAM, V-SLAM, mapping.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Щоб функціонувати по принципах безпечного та ефективного планування та прийняття рішень, автоматизовані й автономні робототехнічні системи потребують доступ до узгодженої моделі навколишнього середовища. Для задоволення цієї потреби, робот повинен мати здатність створювати карту навколишнього середовища, локалізувати себе на ній та контролювати власний рух відносно створеній мапі. Цим вимогам відповідає загальний метод одночасної локалізації та відображення (SLAM). Як систему рішень в сучасній робототехнічній та інтелектуальній індустрії SLAM, можна використовувати для різних систем та різних вимог – як у приміщенні, так і на відкритому повітрі. Використання може варіюватися від операцій роботів у ситуаціях стихійного лиха до розумного виробництва в промислових умовах, де важко орієнтуватися.

Серед інших типів, візуальний SLAM (V-SLAM) має особливе значення, оскільки він пропонує такі впровадження, що дозволяють роботизованим системам використовувати унікальні та зручні техніки SLAM з камер та, для конструкції роботів, потенційно мінімізувати витрати, габарити, масу та складність, що пов'язані з використанням кількох інших сенсорів одночасно [1].

Ця робота спрямована на огляд поточного стану розробок візуальних SLAM-систем для роботів. Створений аналіз описує особливості та різновиди принципів та технік V-SLAM, що використовуються дослідниками та розробниками у сучасності.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Матеріали, що використані для досліджень у цій роботі – академічні публікації з галузі.

Щоб зрозуміти V-SLAM, важливо спочатку окреслити його характеристики по відношенню до загальних концепцій SLAM.

Для забезпечення точної локалізації та картографування, алгоритми SLAM повинні адаптуватися до нових змін, зберігаючи старі стани. Карта також має пристосовуватися до змін навколишнього середовища, але не рости нескінченно – її розмір має залежати лише від території, що досліджується. SLAM можна використовувати в широкому діапазоні додатків, таких як повітряні та підводні мобільні роботи, автономні транспортні засоби, дрони, та може бути визначений як такий, що складається з двох основних частин [2]:

- побудова карти невідомого зовнішнього чи внутрішнього середовища;
- одночасне відстеження положення або переміщення датчиків і камери (що встановлені на мобільній системі) через різні позиції та різний час у цьому середовищі.

Для отримання даних, у SLAM використовуються датчики одометрії (оцінка власного переміщення з колісних, візуальних, інерційних, лазерних або комбінацій різних одометричних джерел), датчики зору, лазери (2D/3D), радар, сонар, гіроскопи, акселерометри та GPS.

Категорія датчиків зору охоплює будь-яку різноманітність приймачів першоджерельних візуальних даних, включаючи монокулярні камери, стереокамери, камери на основі подій, інфрачервоні камери, всенаправлені камери та триколіорові камери глибини (RGB-D). Робот із датчиком зору використовує візуальні дані, надані камерами, щоб оцінити свої положення й орієнтацію щодо власного оточення.

У сучасності, у SLAM входить декілька груп напрямків розпізнавання рис середовища [3]:

- візуальні ознаки: ознаки, отримані із зображень камери, наприклад ознаки згорткової нейронної мережі (CNN) із глибоких нейронних мереж, ознаки, що створені «вручну» (програмно, без нейронних мереж) ознаки, як-от SIFT (масштабно-інваріантне перетворення ознак), SURF (прискорені надійні ознаки), HOG (гістограма орієнтованих градієнтів);
- ознаки LiDAR/лазера: ознаки, що отримані з 3D-хмари точок або 2D-лазерного сканування, такі як дескриптори точок і гістограми;
- семантичні ознаки: ознаки, що представляють семантичні об'єкти або класи, сегментовані або виявлені на зображеннях чи хмарах точок, наприклад стовпи, дерева, будівлі;
- об'єднання кількох датчиків: поєднання ознак з різних датчиків, таких як камери, LiDAR, радар, для використання сильних сторін кожного з них (наприклад, поєднання камер та датчиків дальності для виявлення візуальних і глибинних ознак місцевості);
- стабільність ознак: означає, наскільки добре отримані візуальні або інші ознаки місцевості можна надійно виявляти та зіставляти протягом тривалого періоду часу в мінливих середовищах.

Загальний алгоритм послідовності техніки для будь-якого SLAM – це збір даних з датчиків, вилучення ознак із зображень, зіставлення ознак, оцінка пози, замикання циклів та створення мапи – детальніше це зображено на рис. 1 [4].



Рис. 1 – Принципова схема алгоритму SLAM

Фундаментальна класифікація алгоритмів, що використовуються у V-SLAM, полягає в тому, як дослідники використовують різні методи та стратегії в кожному потоці. Рішення поділяються на прямі та непрямі:

- непрямі методи виділяють ознаки (тобто ключові точки), отримані з текстур шляхом обробки сцени та відстеження їх шляхом зіставлення їхніх дескрипторів у послідовних кадрах. Незважаючи на дорогу обчислювальну продуктивність етапів виділення ознак і зіставлення, ці методи є точними та стійкими до фотометричних змін інтенсивності кадру;

- прямі методи, з іншого боку, оцінюють рух камери безпосередньо з даних на рівні пікселів і створюють задачу оптимізації для мінімізації фотометричної похибки. Покладаючись на фотограмметрію, ці методи використовують усі вихідні пікселі камери та відстежують їх заміну в послідовних кадрах щодо їхніх обмежених аспектів, таких як яскравість і колір. Ці характеристики дозволяють використовувати прямі підходи для моделювання більшої кількості інформації із зображень, ніж непрямі методи, і забезпечують більш точну 3D-реконструкцію.

У той час як прямі методи працюють краще в середовищах без текстур і не вимагають більше обчислень для виділення ознак, вони часто стикаються з проблемами великомасштабної оптимізації, а різні умови незвичайного освітлення негативно впливають на їх точність (хоча це легко виправляти завдяки використанню інфрачервоних камер чи джерел освітлення у системі робота). Плюси і мінуси кожного підходу спонукали дослідників задуматися про розробку гібридних рішень, де розглядається поєднання обох підходів. Змішані методи зазвичай об'єднують етап виявлення непрямого та прямого виявлення, у якому один ініціалізує та коригує інший.

Типова система V-SLAM включає в себе програмне забезпечення зі спареним методом візуальної одометрії (VO) для оцінки шляху камери та обчислювальну частину SLAM для оптимізації створеної карти – на такій основі існує багато варіацій реалізації V-SLAM. Варто й зазначити різницю між V-SLAM і VO – останній не працює зі сконструйованою глобальною картою та не працює з алгоритмами прогнозування або траєкторії, VO тільки надає попередню оцінку розташування та поз робота на основі локальних стабільних ознак, які надсилаються на обчислення для оптимізації. Деякі найсучасніші додатки V-SLAM також включають два додаткові модулі: виявлення замикання циклу та картографування – вони відповідають за розпізнавання раніше відвіданих місць для більш точного відстеження та реконструкції карти на основі пози камери.

Протягом останніх років, різні дослідники та розробники запропонували свої підходи та внески щодо методів і налаштувань V-SLAM, деякі з яких є спільними з іншими методами SLAM [5-8].

Підходи до мультисенсорної обробки:

- використання кількох камер – оскільки може бути важко відтворити тривимірні траєкторії рухомих об'єктів за допомогою однієї камери, деякі дослідники пропонують замість цього використовувати кілька камер. Перекриття оглядів камери полегшує перебудову динамічних точок у 3D шляхом змішування оцінки пози всередині та між камерами та відображення. Крім того, ефективність системи V-SLAM у складних умовах покращується завдяки незалежності від камери, що усуває загальні перешкоди від відхилень у оклюзії та розрідженості текстури. Деякі методи передбачають перетворення зображень кількох камер із ширококутовими об'єктивами типу «риб'яче око» на ключові кадри для подальшої швидкої, але ресурсозатратної, обробки;

- мультимодальні датчики – деякі підходи поєднують різні модальності датчиків і об'єднують виходи датчиків на основі бачення та інерції для кращої продуктивності, поєднуючи дані з карт глибини LiDAR і RGB-зображень камер. Різноманітність типів вхідних даних можна розширити інтеграцією радарів, гіроскопів, акселерометрів тощо.

Підходи до оцінювання пози:

- оцінювання за даними ліній/точок – процес побудови структурних ліній як корисних ознак для визначення пози камери. Структурні лінії пов'язані з домінуючими напрямками та кодують інформацію про глобальну орієнтацію, що призводить до покращених прогнозованих траєкторій. Одна з відмінних реалізацій точково-лінійного SLAM – це система, яка одночасно об'єднує лінійні та точкові ознаки для покращеної оцінки позиції, що допомагає системі SLAM працювати в ситуаціях з невеликою кількістю точок ознак – недоліком є висока обчислювальна вартість і залежність від використання відносно складні геометричні примітиви;

- оцінювання за комплексними ознаками – деякі методи пропонують оцінки положення шести вільностей свободи, які можна виконати шляхом дорогої обчислювальної обробки хмари точок камер стереозору та карт оптичного потоку, а також відтворення великомасштабних карт внутрішнього середовища шляхом використання розміщення та розпізнавання кількох штучні маркери або орієнтири в системі комп'ютерного зору.

Підходи до забезпечення точності відносно реального середовища:

- відокремлення особливостей місцевості та врахування різних джерел датчиків (наприклад, поєднань камер з LiDAR та радарями) можуть підвищити стійкість до змін зовнішності в навколишньому середовищі:

- методи динамічних місцевостей дозволяють будувати карти з динамічних середовищ. Найпоширеніший підхід – розрізнення статичних, динамічних і напівстатичних змін у сприйманому середовищі з використанням лише статичних постійних змін для локалізації для підвищення надійності оцінювача пози. Деякі використовують п'ятипоточковий процес, що паралельно поєднує відстеження, семантичну сегментацію, локальне відображення, закриття циклу та побудову щільної семантичної карти. Інші відомі методи – сортування значень оптичного потоку для використання їх для розпізнавання ознак і реконструкція карти середовища з використанням мережевих даних семантичної сегментації, техніки виявлення узгодженості руху та геометричних обмежень.

Підходи з обмеженням використання ресурсів:

- обмежені можливості обробки – певні системи V-SLAM, що розроблені для мобільних пристроїв і пристроїв з обмеженими ресурсами, використовують налаштування стереокамери,

використовують модулі відносного розширення ознак середовища або поєднують виявлення геометричних даних та методів виявлення об'єктів із візуальною одометрією;

– розвантаження обчислень – практика, яка використовує розвантаження складних операцій SLAM в спільну хмарі дистанційно-з'єднаних комп'ютерів, що допомагає зробити роботизовану систему більш компактною, енергоефективною та легкою.

Ці методи спільно сприяють розвитку довгострокової локалізації та картографічних можливостей мобільних роботів шляхом усунення дисперсії візуальних даних, усунення динамічних елементів з аналізу, впровадження точності представлення мапи та узгодження паралельних операцій. Кінцевим результатом впровадження будь-якого з них є можливість роботів адаптуватися до мінливого середовища, підтримувати точні карти та ефективно орієнтуватися в середовищі протягом тривалого часу.

Важливо також підкреслити, що більшість із підходів сумісні з використанням машинного навчання та нейронних мереж, які пропонують універсальні та адаптовані обчислення, що необхідні для швидких та точних виявлення ознак і відображення середовища. Наприклад, створення ознак-описів на основі CNN є більш точними щодо деталей порівняно з програмним створенням ознак-описів середовища.

ВИСНОВКИ. Отже, на основі даних досліджень, можна зробити висновок, що, в той час як системи V-SLAM дозволяють тримати роботизовані системи спрощеними щодо вартості апаратного забезпечення, розміру та маси, методи цих систем потребують спеціального програмування та технік обробки даних. Труднощі, з якими стикається SLAM з камер, можна вирішити за допомогою незначних апаратних і основних програмних реалізацій (таких як використання інфрачервоних камер та/або додаткових джерел світла для роботи з неправильним освітленням і динамічними змінами навколишнього середовища). На даний момент, оскільки методи V-SLAM ще не вдосконалені, більшість методів V-SLAM інтегровані в мультисенсорні системи SLAM замість того, щоб бути самі по собі. Крім того, навіть у категорії V-SLAM не існує найкращого універсального підходу, який можна застосувати для будь-якого випадку – деякі методи потребують більших обчислювальних ресурсів, а інші залежать від простоти сканування навколишнього середовища чи від дистанційного зв'язку з хмарою комп'ютерів для обчислень. З розвитком методів та технік V-SLAM, недоліки деяких методів можуть бути мінімізовані, що може дозволити як використовувати їх виключно з камерами, так й легко впроваджувати їх у будь-яку мультисенсорну SLAM систему без значних модифікацій.

ЛІТЕРАТУРА

1. I. Abaspor Kazerouni, L. Fitzgerald, G. Dooly, and D. Toal, "A survey of state-of-the-art on visual SLAM," *Expert Systems with Applications*, vol. 205, p. 117734, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117734>.
2. R. B. Sousa, H. M. Sobreira, and A. Moreira, "A Systematic Literature Review on Long-Term Localization and Mapping for Mobile Robots," *Authorea (Authorea)*, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.22541/au.166739295.55264285/v1>.
3. M. F. Ahmed, K. Masood, V. Fremont, and I. Fantoni, "Active SLAM: A Review on Last Decade," *Sensors*, vol. 23, no. 19, p. 8097, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23198097>.
4. A. Tourani, H. Bavle, J. L. Sanchez-Lopez, and H. Voos, "Visual SLAM: What Are the Current Trends and What to Expect?," *Sensors*, vol. 22, no. 23, p. 9297, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/s22239297>.
5. J. A. Placed et al., "A Survey on Active Simultaneous Localization and Mapping: State of the Art and New Frontiers," *arXiv (Cornell University)*, Jul. 2022, doi: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2207.00254>.

6. W. Chen et al., “Overview of Multi-Robot Collaborative SLAM from the Perspective of Data Fusion,” *Machines*, vol. 11, no. 6, pp. 653–653, Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/machines11060653>.
7. C. Campos, R. Elvira, J. J. G. Rodriguez, J. M. M. Montiel, and J. D. Tardos, “ORB-SLAM3: An Accurate Open-Source Library for Visual, Visual–Inertial, and Multimap SLAM,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 37, no. 6, pp. 1–17, 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/tro.2021.3075644>.
8. Q. Zang, K. Zhang, L. Wang, and L. Wu, “An Adaptive ORB-SLAM3 System for Outdoor Dynamic Environments,” *Sensors*, vol. 23, no. 3, p. 1359, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23031359>.

Науковий керівник: Цимбал Олександр Михайлович, доцент кафедри КІТАМ, Харківського національного університету радіоелектроніки

ДОДАТОК Е

Презентація

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра КІТАР

**ТЕМА РОБОТИ: РОЗРОБЛЕННЯ 3D
МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА
МОБІЛЬНОГО РОБОТА ЗАСОБАМИ VSLAM**



ВИКОНАВ: ст. гр. КТРСм-23-2 Поддубняк І.А.
КЕРІВНИК: д.т.н. Цимбал О.М.



ХАРКІВ 2025

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ РОБОТИ

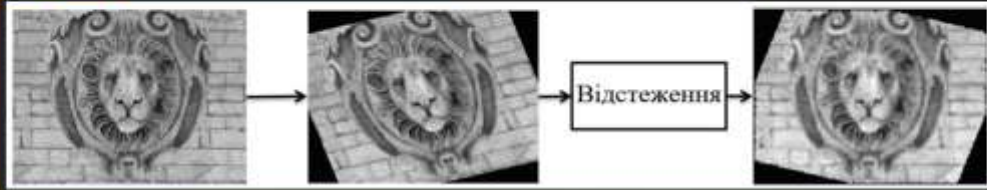
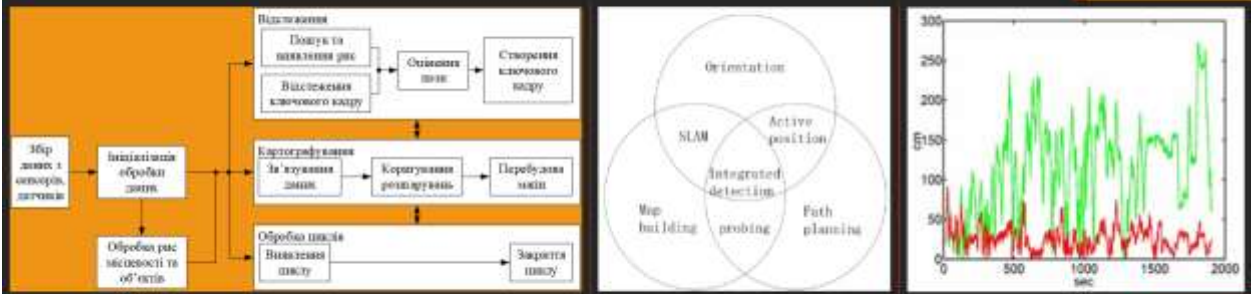


- Мета роботи - підвищення ефективності 3D моделювання робочого середовища мобільного робота за рахунок використання VSLAM.
- Об'єкт розробки - технології комп'ютерного зору та SLAM.
- Предмет розробки - інтегрована VSLAM система робота.

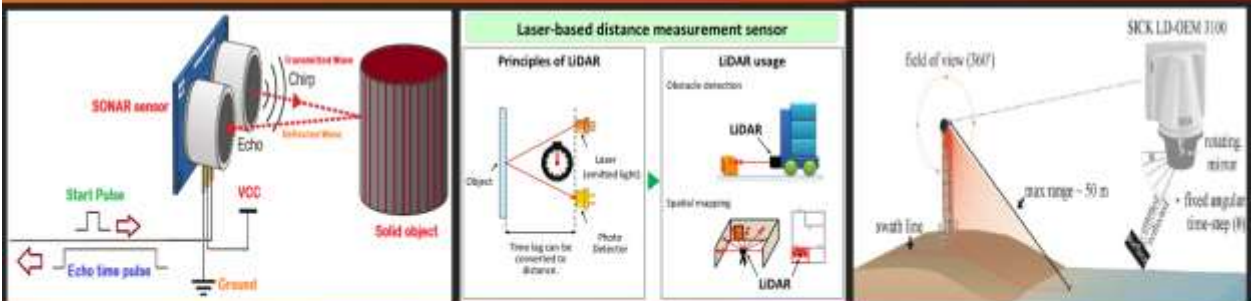
ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ МЕТИ

<ul style="list-style-type: none"> • провести аналіз сучасних універсальних 3D-симуляторів роботів • провести аналіз сучасності використання комп'ютерного зору у симуляторах робототехнічних систем • провести аналіз сучасних візуальних SLAM систем в робототехніці та аналогів їх імплементацій • провести вибір та розробку програмних компонентів системи 	<ul style="list-style-type: none"> • розробити команди та схеми підключень та взаємозв'язків системи • розробити моделювання тестового робота та його середовища для симуляцій • розробити імплементацію керування роботом та втілення V-SLAM системи • дослідити функціонал системи • розрахувати ефективність та комп'ютерне моделювання системи
---	---

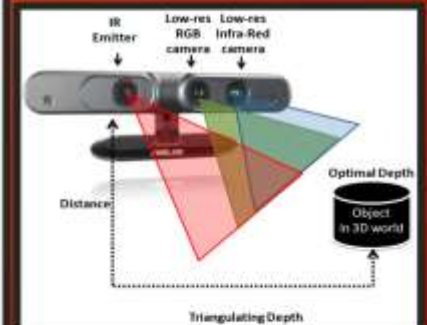
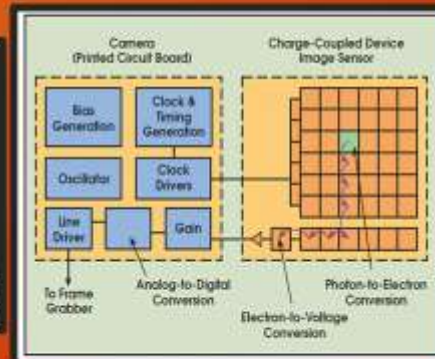
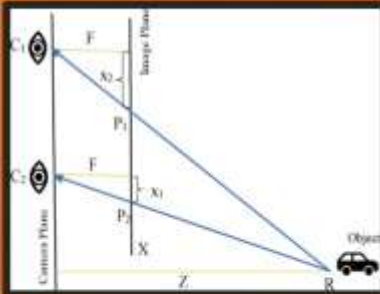
СУЧАСНІСТЬ SLAM ТА VSLAM



ТИПИ ТА СЕНСОРИ SLAM



ТИПИ ТА СЕНСОРИ VSLAM

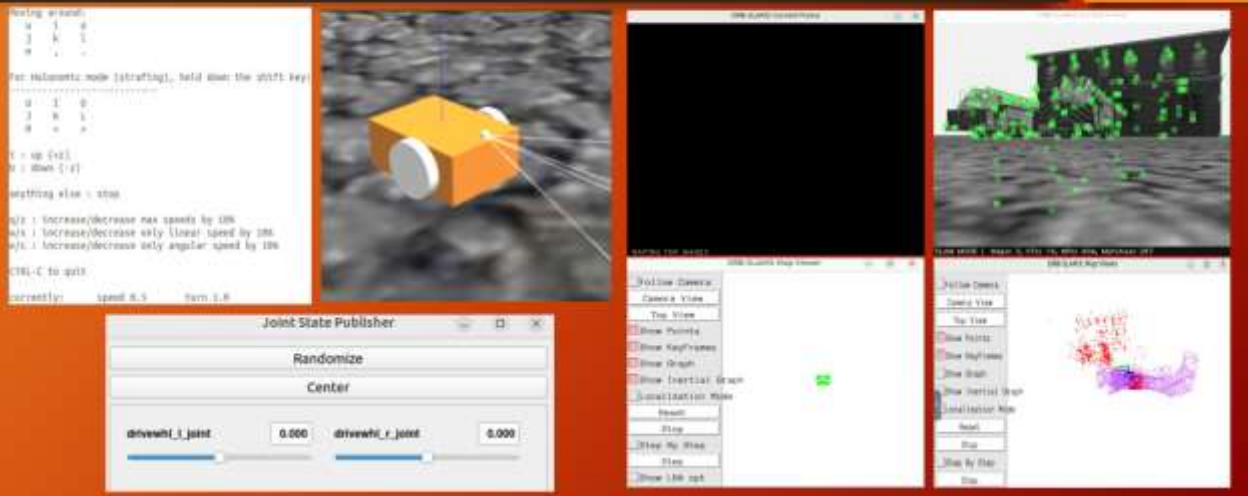


ПАРАМЕТРИ РОЗРОБКИ

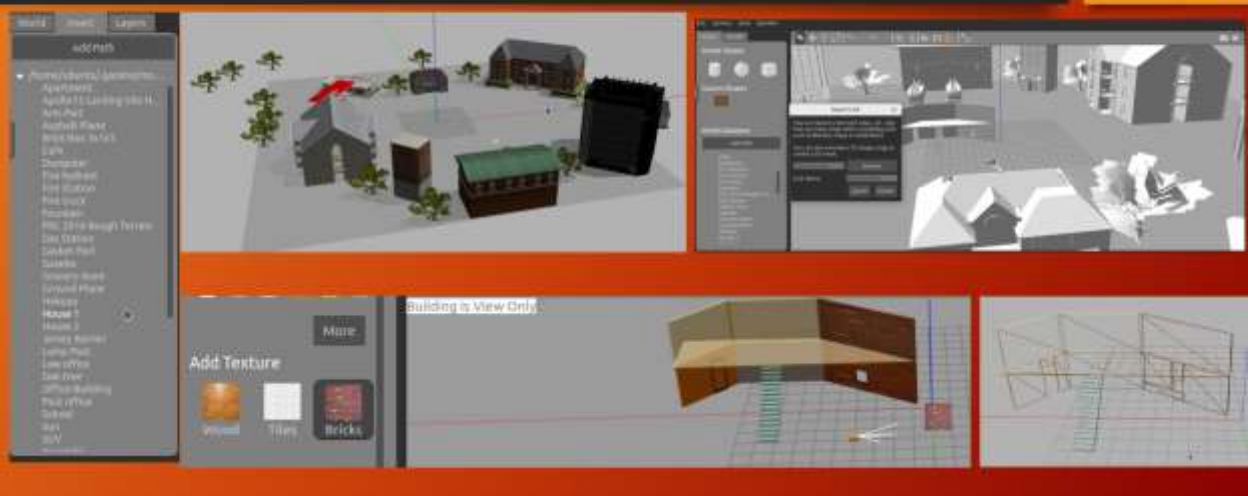


- виконання SLAM через візуальні дані
- інтеграція з симульованими та реальними програмними та апаратними середовищами робототехніки
- споживання до 8 ГБ ОЗП
- можливість діагностування та модифікації системи
- ОС GNU/Linux дистрибутиву Ubuntu 22.04.4
- версія ROS2 Humble
- бібліотека VSLAM ORB-SLAM3

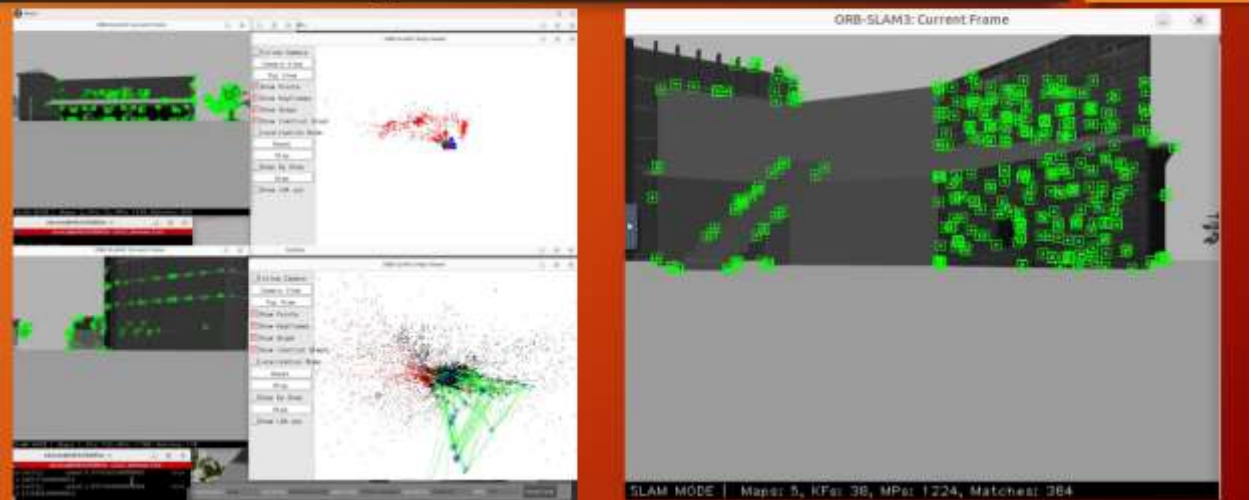
СИСТЕМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЗАПУСК ПРОЕКТУ



НАЛАШТУВАННЯ СЦЕНИ



ПРОЦЕСИ VSLAM



REAL-TIME ДАНІ



Maps: 1, KFs: 720, MPs: 11765, Matches: 178

Time Factor: 0.45 Sim Time: 00:00:23:06.344 Real Time: 00:00:57:02.827 Iterations: 1380344 FPS: 7.45

БАЗОВІ ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ



Графік карт, ключових кадрів, збігів



Графік точок збіжностей

РОЗРАХОВАНІ ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ

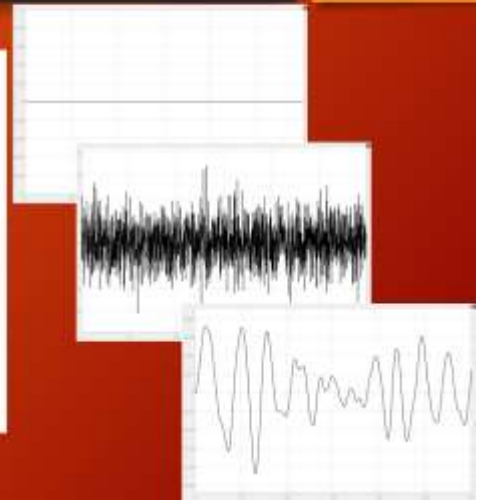
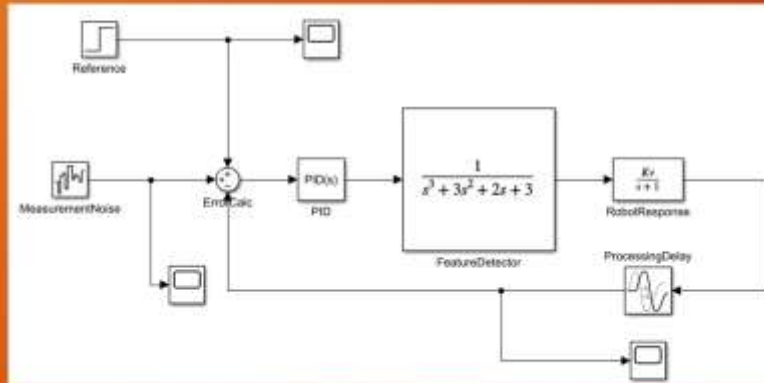


Графік щільності ключових кадрів та ефективності знаходження збігів



Графік щільності мапи

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ САУ



ВИСНОВКИ



- У кваліфікаційній роботі розроблено програмну систему для 3D моделювання робочого середовища мобільного робота засобами VSLAM.
- Розглянуті питання, пов'язані з аналізом сучасних принципів та імплементацій технології VSLAM у робототехніці, сформовано обґрунтування рішень щодо впровадження у систему проекту розробки, зроблено аналіз сучасних універсальних 3D-симуляторів роботів, проаналізовано використання комп'ютерного зору у симуляторах робототехнічних систем, а також досліджено сучасні візуальні SLAM системи в робототехніці та їх імплементації.
- Обрано та розроблено програмні компоненти системи, розроблено команди та схеми підключень і взаємозв'язків системи. Також здійснено розробку моделювання тестового робота та його середовища для симуляцій, реалізовано імплементацію керування роботом та втілення VSLAM системи, проведено дослідження функціоналу системи, а також виконано розрахунки ефективності та комп'ютерного моделювання системи.
- Результати можна віднести до Цілі сталого розвитку 9, п. 9.3 та 9.4 у зв'язку з важливістю системи у ролях забезпечення країни транспортною інфраструктурою належного стандарту (за рахунок аналізу скануванням рівності існуючих доріг) та інновацій у поліпшенні та відлагодженні виробничих процесів, де потрібні швидкі та дешеві дослідження об'ємних характеристик середовищ, що використовуються для промислових цілей.

№	Позначення	Найменування	Дод. відомості
		<u>Текстові документи</u>	
1	ГЮИК. 503320.38 ПЗ	Пояснювальна записка	82 с., ф. А4
		<u>Графічні документи</u>	
		Додаток Е. Презентація	14 с., у форматі *.ppt
		<u>Інші документи</u>	
		Додаток А. Код URDF файлу робота	8 с., ф. А4
		Додаток Б. Код файлу YAML для уточнення параметрів монокулярної камери для VSLAM	3 с., ф. А4
		Додаток В. Апробація результатів кваліфікаційної роботи	15 с., ф. А4
		Додаток Г. Висвітлення результатів кваліфікаційної роботи	7 с., ф. А4
		Додаток Д. Висвітлення результатів кваліфікаційної роботи	14 с., ф. А4
ГЮИК. 503320.38 ВД			
Змін.	Арк.	№ документа	Підп. Дата
Розроб.		Поддубняк І.А.	
Перевір.		Цимбал О.М.	
Н. контр.		Стародубцев М.Г.	
Затвер.		Невлюдов І.Ш	
			Розроблення 3D моделювання робочого середовища мобільного робота засобами VSLAM
			Літ. Аркуш Аркушів
			Н 1 1
			ХНУРЕ Кафедра КІТАР