

Міністерство освіти і науки України  
Головне управління освіти і науки Дніпропетровської  
облдержадміністрації  
Дніпропетровське відділення МАН України

Відділення: Технічних наук  
Секція: Авіа — та ракетобудування,  
машинобудування і роботехніки

Пошукові задачі і алгоритми навігації транспортного робота

Роботу виконав:  
Киселевич Кирило Дмитрович  
учень 9-В класу  
Дніпропетровського міського ліцею  
інформаційних технологій

Науковий керівник:  
Чашка Юрій Михайлович  
Доцент ДНУ ім. О. Гончара

Дніпропетровськ – 2015

## **ТЕЗИ**

до науково-дослідницької роботи  
на тему

### **Пошукові задачі і алгоритми навігації транспортного робота**

Киселевич Кирилл Дмитрович, учень 9-В Дніпропетровського ліцею інформаційних технологій при Дніпропетровському національному університеті ім. Олесь Гончара.

Науковий керівник – Чашка Юрій Михайлович доцент ДНУ ім. О. Гончара

Науково-дослідна робота присвячена дослідженню методів і засобів управління транспортним роботом в умовах початкової невизначеності щодо мапи місцевості. Дослідження проводиться за допомогою спеціально створеної установки. Комп'ютерна програма збирає вимірювальні данні, синхронізує управління двигуном. В результаті вдалося досягнути поставленої мети, а саме провести за допомогою установки відповідні експерименти, що встановлюють каліброву сенсорів, адаптивну фільтрацію вимірювальних даних в залежності від рівня впливу зовнішніх завад на достовірність вимірювань та властивості управління рухом в залежності від швидкості руху на прямих і криволінійних ділянках. Тим самим були виконані всі завдання роботи та підтверджена її доцільність та актуальність.

Робота складається зі змісту, вступу, двох розділів, висновків, списку використаних джерел, а також 5 малюнків та 7 фотоілюстрацій до експериментів.

## **ЗМІСТ**

Вступ

1 Теоретична частина. Транспортний робот

1.1 Обґрунтування складу сенсорів задля інформаційного забезпечення навігації робота

1.2 Аналіз механізмів впливу завад на управління рухом транспортного робота

1.3 Математичні моделі (Рівняння) управління рухом транспортного робота

1.4 Алгоритм роботи програми

1.5 Результати експериментальних досліджень

1.6 Висновок

2 Практична частина

2.1 Рекомендації щодо створення установки

2.2 Експеримент 1 Проїхати увесь полігон

2.3 Експеримент 2 Калібровка

2.4 Експеримент 3 Завади на путі робота

2.5 Експеримент 4 Синхронізація

Висновки

## ВСТУП

Транспортний робот є моделлю багатьох сучасних машин, наприклад, у будівництві, а також в літаках, ракетах і морських суднах.

Транспортний робот є обов'язковим учасником дослідження зовнішніх середовищ. Роботи, які діють в умовах небезпечних для людини, мають бути стійкими до дії відповідних загроз: хімічна, температурна небезпека. Це можуть бути дослідження на поверхні Землі, а можуть бути підводні, космічні. Приклади:

1. Посадка робота на комету,
2. Проекти СРСР по дослідженню Місяцю:



*Рисунок 1 Робот на Місяці*

- До появи космічних апаратів єдиним методом дослідження Місяця були спостереження. Винахід Галілеєм телескопа 1609 був великим етапом в астрономії, зокрема у спостереженнях за Місяцем. Сам Галілей використовував свій телескоп для дослідження гір і кратерів на місячній поверхні.

- Дослідження Місяця з використанням космічних апаратів почалось 13 вересня 1959 зіткненням автоматичної станції Луна-2 з поверхнею нашого супутника.

- З початком космічної гонки між СРСР і США впродовж холодної війни Місяць був у центрі космічних програм СРСР і США. З точки зору США, висадка людини на Місяць 1969 була кульмінацією місячної гонки. З іншого боку, багато значних наукових віх Радянський Союз досяг раніше від

США. Наприклад, перші фотографії зворотного боку Місяця були отримані радянським апаратом Луна-3 1959.

### 3. Дослідження Марсу США:

- 1964 — Mariner 3(США). Вийшов на Земну орбіту і розламався на шматки.
- 1964 — Mariner 4(США). Зробив 21 знімок Марса.
- 1971 — Mariner 9(США). Зробив 7329 знімків Марса.
- 1996 — Mars Global Surveyor (США). Передав більше знімків ніж всі попередні разом узяті.
- 1996 — Mars Pathfinder(США). Працював у 5 разів довше ніж планувалося.
- 1998 — Mars Climate Orbiter(США). Загублений.
- 1999 — Mars Polar Lander(США). Загублений.
- 1999 — Deep Space 2 Probes(США). Загублений разом з Mars Polar Lander.
- 2001 — Mars Odyssey (США).

В будь якому випадку робот характеризується точкою старта початку руху, ознаками області для дослідження, описом координат точок на цій поверхні. Наприклад, транспортний робот, якого доставляють на планету космічним апаратом становиться роботом-дослідником. Після висадки на поверхню планети спускаємий апарат буде розглядатися як база, у області якої досліджується місцевість. Транспортний робот має стартувати відносно цієї бази, по якійсь траєкторії об'їжджати місцевість та повертатися на базу.

Формалізуймо задачу:

1. База визначає початкову точку старту і прив'язки до відповідної системи координат
2. У процесі руху робот може обходити перешкоди і при цьому відслідковувати на віртуальному рівні напрямок руху у вибраній системі координат
3. Виявлення перешкод робот викон ує автономно бортовими датчиками. Датчики як вимірювачі додатково потрібно калібрувати, щоб їх сигнали використовувати в завданнях управління
4. Програма повинна виявляти виникаючі похибки в напрямку руху і користуватися опорними орієнтирами для відновлення прив'язки до базової системи координат
5. Для повернення на базу програма робота повинна генерувати план проходження з урахуванням виявлених перешкод і вимірювача шляху і кутів

Усі ці пункти мають бути дослідженні для їх оцінки і стійкості до різних поміх.

При вивченні методів навігації в просторі дослідження будемо зважати на те, що оптичні спостереження можливі на обмеженій. Робот може використовувати локаційний та оптичний сенсор. Локація дозволить йому заздалегідь уникати великі перешкоди. Тому будемо вважати в нашому дослідженні, що найбільш зручним способом для навігації робота можуть бути контрольні точки, які залишає робот як вказівні точки, або координати природних міток, які було їм знайдено. При цьому роботу доступна інформація від енкодера, котра зі обмеженою точністю дозволяють контролювати пройдений шлях і розвороти. Навігація буде основана на зв'язуванні різних вимірювань для встановлення траєкторії переміщення.

Додатковою задачею дослідження є вивчення впливу можливих завад, які зашкоджують визначенню параметрів руху і навігації робота, вносячи похибки в виміри сенсорів.

При вивченні кожного аспекту навігації транспортного робота дуже важливим є експериментальне підтвердження можливості використання вище вказаних сенсорів та програмних розрахунків для більш досконалого управління переміщенням робота і визначення його місцезнаходження а також картографії місцевості. Тому робота, яка присвячена вивченню механізмів захисту від перешкод і створенню ефективної установки, за допомогою якої можна демонструвати різні аспекти управління транспортним роботом є актуальною.

**Сутність проблеми** полягає у вивченні можливості прогнозування руху робота задля завчасного коректування параметрів вимірювань, які були спотворені зовнішнім впливом. Результати проведених експериментів вказують на можливість використання і розповсюдження розроблених рішень для сучасної техніки.

#### **Метою** цієї роботи

є розробка алгоритмів і методів виявлення присутності похибок у даних сенсорів, методів додання завад, створення установки для автономного дослідження і картографії місцевості та проведення відповідних експериментів, що допоможуть вивчити властивості роботи сенсорів та можливість ефективно запобігати дії дестабілізуючих факторів.

Для досягнення цієї мети треба виконати такі **завдання**:

1. Зробити теоретичне обґрунтування роботи;
2. Створити установку для проведення експериментів та їх демонстрації;
3. За допомогою створеної установки продемонструвати експерименти з управлінням, картографуванням, доданням завад , а саме:
  - а) Проїхати увесь полігон;

- б) Виїхати з зеленого поля і повернутися у початкову точку;
- г) Створити моделі проїханої дороги;
- д) Об'їхати перешкоди.

**Об'єктом** дослідження є роботом.

**Предметом** дослідження є модель транспортного робота на основі конструктора ЛЕГО.

# Основна частина

## Теоретична частина

### Обґрунтування складу сенсорів задля інформаційного забезпечення навігації робота

В цій частині роботи ми ознайомимося з теорією руху маятника задля коректного проведення експериментів. Дізнаємося, які ознаки коливального процесу є визначальними для фізичної моделі математичного маятника.

#### 1.1 Транспортний робот

**Транспортний робот в загальному випадку** - автоматична машина, що представляє собою сукупність маніпулятора, перепрограмуваний пристрою керування й ходового пристрою. Специфіка застосування відбивається в конструкції ходової частини і в наборі вимірювальних засобів, а також методичним забезпеченням для обробки результатів вимірювання та прийняття рішення про режими руху.

Точка основного базування транспортного робота определяет начальную точку старта и прив'язку к соответствующей системе координат.

У процесі руху робот може обходити перешкоди і при цьому відслідковувати на віртуальному рівні напрямок руху у вибраній системі координат.

Програма повинна виявляти виникаючі похибки в напрямку руху і користуватися опорними орієнтирами для відновлення прив'язки до прийнятої базовій системі координат

Виявлення перешкод робот виконує автономно бортовими датчиками. Датчики як вимірювачі додатково потрібно калібрувати, щоб їх сигнали використовувати в завданнях управління

Для повернення на базу програма робота повинна генерувати план проходження з урахуванням виявлених перешкод і вимірювача шляху і кутів

Будемо розглядати робот в застосуванні до задач руху по незнайомій місцевості. Характерними ознаками такого робота є:

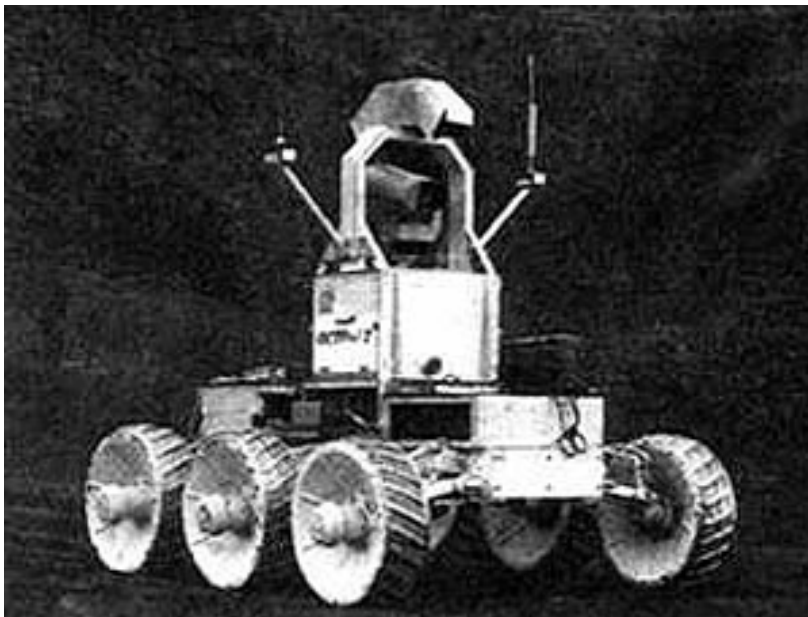


Рисунок 2 Транспортний робот



- автоматичне керування;
- здатність до швидкого і відносно легкому перепрограмуванню (зміни послідовності, системи та змісту команд);
- здатність до виконання трудових дій.

На початок вважається що йдеться про робота в незнайомій чи навіть інопланетній місцевості, але схожі обставини можуть виникати і в звичних використаннях, наприклад, робот може огинати випадкову заваду, повідомляти на базу про її місцезнаходження і продовжувати виконання своєї основної задачі. За допомогою роботів можна об'єднувати обладнання в координовано працюють виробничі комплекси різного масштабу, не пов'язані жорстко плануванням і числом встановлених агрегатів. Такі комплекси забезпечують гнучку структуру поведінки. Вони мають цілу низку переваг порівняно з іншими пристроями:

- Малі габаритні розміри рухомого органу;
- Великий діапазон регулювання швидкості переміщення;
- Автоматичні переміщення; повне вивільнення проїздів після проходження транспортного робота для транспорту інших видів;
- Автономність.

Тому задачі навігації транспортних роботів є важливими в багатьох практичних напрямках. Вони охоплюють оцінку:

1. Вимірнювального забезпечення управління роботом,
2. Математичне забезпечення управління навігацією робота,
3. Телекомунікаційні засоби робота.

## **1.2 Математичні моделі (Рівняння) управління рухом транспортного робота**

Мобільний робот переміщується для вирішення тих чи інших завдань, отримує дані з зовнішніх датчиків, і повинен постійно обробляти інформацію, щоб керувати своїм рухом. Всі ці процеси відбуваються безперервно і тісно взаємопов'язані один з одним. Сьогодні мова піде про основні конфігурації колісних роботів і те, як математично описуються їх переміщення.

Мобільні роботи можуть переміщуватися в різних середовищах: у водному, повітряному, по землі, у космосі. І рух у кожному середовищі має свої особливості, пов'язані з їх різними фізичними властивостями.

У цій публікації я розгляну колісних роботів, які здатні переміщатися по досить плоским поверхням.

При розробці системи переміщення робота необхідно враховувати наступні моменти:

- Швидкість або прискорення руху
- Точність позиціонування (повторюваність)
- Гнучкість і надійність при різних умовах
- Ефективність (низьке енергоспоживання)

Для того щоб математично описати рух мобільного робота нам буде потрібно визначити системи координат. Я введу дві системи координат-світову систему координат  $W$  (буду вважати, що він нерухома в просторі), і система координат робота  $R$ , яка переміщається в просторі і залишається нерухомою щодо самого робота.

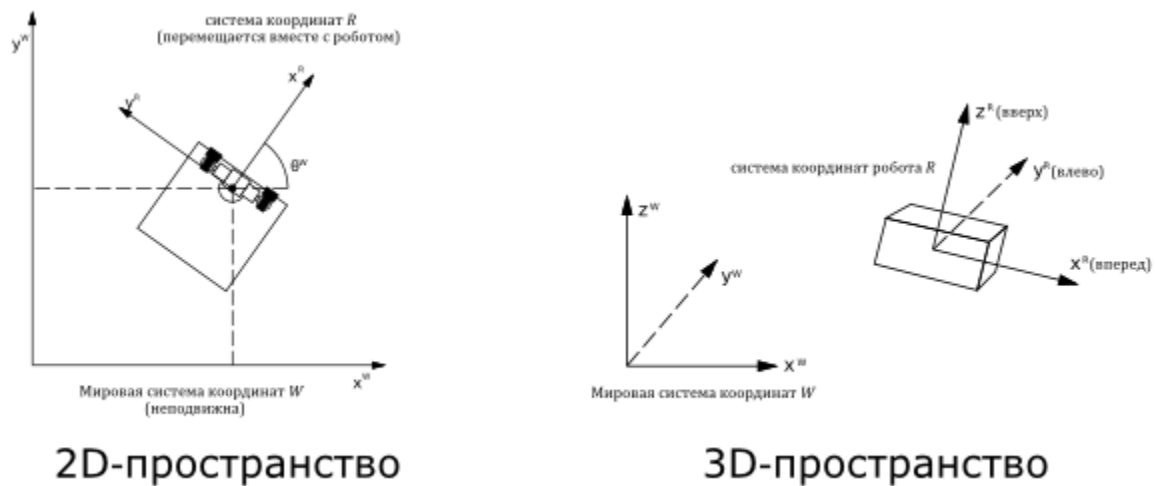


Рисунок 3 Системи координат

Нам необхідно визначити місце розташування робота, тобто ми хочемо знати, як перетворювати координати між  $W$  і  $R$ .

Число ступенів свободи визначає мінімальну кількість незалежних змінних (узагальнених координат), необхідних для повного опису руху механічної системи.

Тверде тіло, яке переміщається і обертається рухаючись по одномерному шляху має одну ступінь свободи - поступальну. Як приклад можна привезти потяг, що рухається по рейках.

Тверде тіло, яке переміщається і обертається на площині має 3 ступені свободи: 2 поступальних і 1 обертальну. Приклад: наземний робот. Твердое тело, которое перемещается и вращается в 3D-объеме имеет 6 степеней свободы: 3 поступательных и 3 вращательных.

Особливий випадок - це так званий Голономні робот, який здатний переміщатися миттєво в будь-якому напрямку в просторі його ступенів

свободи (робот є Голономні якщо число керованих ступенів свободи одно повного числа ступенів свободи). Голономні роботи існують, але вимагають безліч моторів і незвичайний конструктив, що найчастіше дуже непрактично. Однак, наземні голономні роботи можуть бути реалізовані з використанням всеспрямованих коліс (omni-wheels).

### 1.3 Алгоритм роботи програми

Для того, щоб змусити робота рухатися плавно по чорній лінії, потрібно змусити його самому вважати швидкість руху.

А щоб змусити робота вважати, необхідно спочатку самим визначитися, як це робиться.

Людина бачить чорну лінію і її чітку межу. Датчик освітленості працює трохи інакше.

Саме ця властивість датчика освітленості - неможливість чітко розрізнити кордон білого і чорного - ми і будемо використовувати для розрахунку швидкості руху.

По-перше, введемо поняття "Ідеальна точка траєкторії".

Показання датчика освітленості коливаються в діапазоні від 20 до 80, найчастіше на білому кольорі свідчення рівні приблизно 65, на чорному близько 40.

Ідеальна точка - умовна точка приблизно посередині білого і чорного кольорів, дотримуючись якої робот буде переміщатися уздовж чорної лінії.

Тут принципово розташування точки - між білим і чорним. Задати її точно на білому або чорному не вийде з математичних причин, чому - буде ясно пізніше.

Емпіричним шляхом ми вираховували, що ідеальну точку можна вирахувати за наступною формулою:

$$I_{ud} = \frac{I_{max}}{1.2}$$

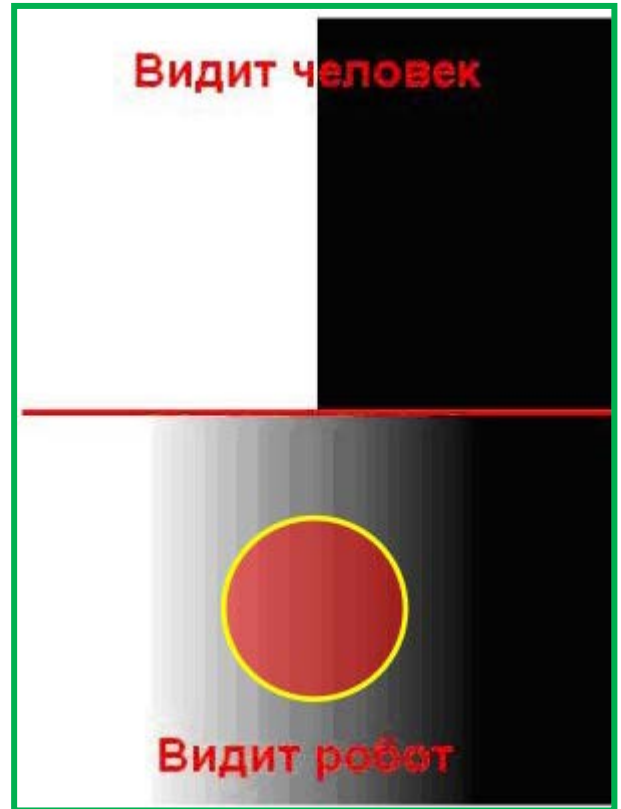


Рисунок 4 Модель зору робота

Далі відбувається наступне.

Робот повинен рухатися строго по ідеальній точці. Якщо трапляється відхилення в яку-небудь сторону, робот повинен повернутися до цієї точки.

Складемо **математичний опис задачі**.

Розрахувати потужність обертання кожного з двигунів з урахуванням ступеня відхилення від ідеальної точки.

Вихідні дані.

Ідеальна точка.

Поточні показання датчика освітленості.

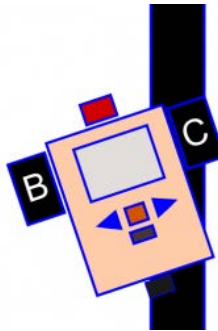
**Результат.**

Потужність обертання мотора В.

Потужність обертання мотора С.

**Рішення.**

Розглянемо дві ситуації. Перша: робот відхилився від чорної лінії в сторону білого.



*Рисунок 5 Робот їде по лінії*

У цьому випадку робот повинен збільшити потужність обертання мотора В і зменшити потужність мотора С.

У ситуації, коли робот заїжджає на чорну лінію, все навпаки.

Чим сильніше робот відхиляється від ідеальної точки, тим швидше йому треба до неї повернутися.

Грамотно це називається ПІД-регулятор.

Але створення такого регулятора - завдання досить непросте, та й не завжди він потрібен в цілому вигляді.

Тому ми вирішили обмежитися тільки П-регулятором, адекватно реагує на відхилення від чорної лінії.

На мові математики це буде записано так:

$$N_b = N_{\text{базовая}} + (I_{\text{тек}} - I_{\text{ид}}) * k$$

$$N_c = N_{\text{базовая}} - (I_{\text{тек}} - I_{\text{ид}}) * k$$

Де  $N_b$  и  $N_c$  – підсумкові потужності моторів В і С відповідно,

$N_{\text{базовая}}$  – якась базова потужність моторів, що визначає швидкість руху робота. Підбирається експериментально, залежно від конструкції робота і різкості поворотів.

$I_{\text{тек}}$  – поточні показання датчика освітленості.

$I_{\text{ид}}$  – розрахована ідеальна точка.

$k$  – коефіцієнт пропорційності, підбирається експериментально.

## 2 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Друга частина роботи присвячена створенню установки для моделювання коливань математичного маятника та проведенню експериментів за допомогою цієї установки.

### 2.1 Рекомендації щодо створення установки

Особливістю установки, є її простота. Установка складається з:

1. Конструктора ЛЕГО.
2. Вимірювання и збір даних на основі конструктора NXT.
3. Установка для:

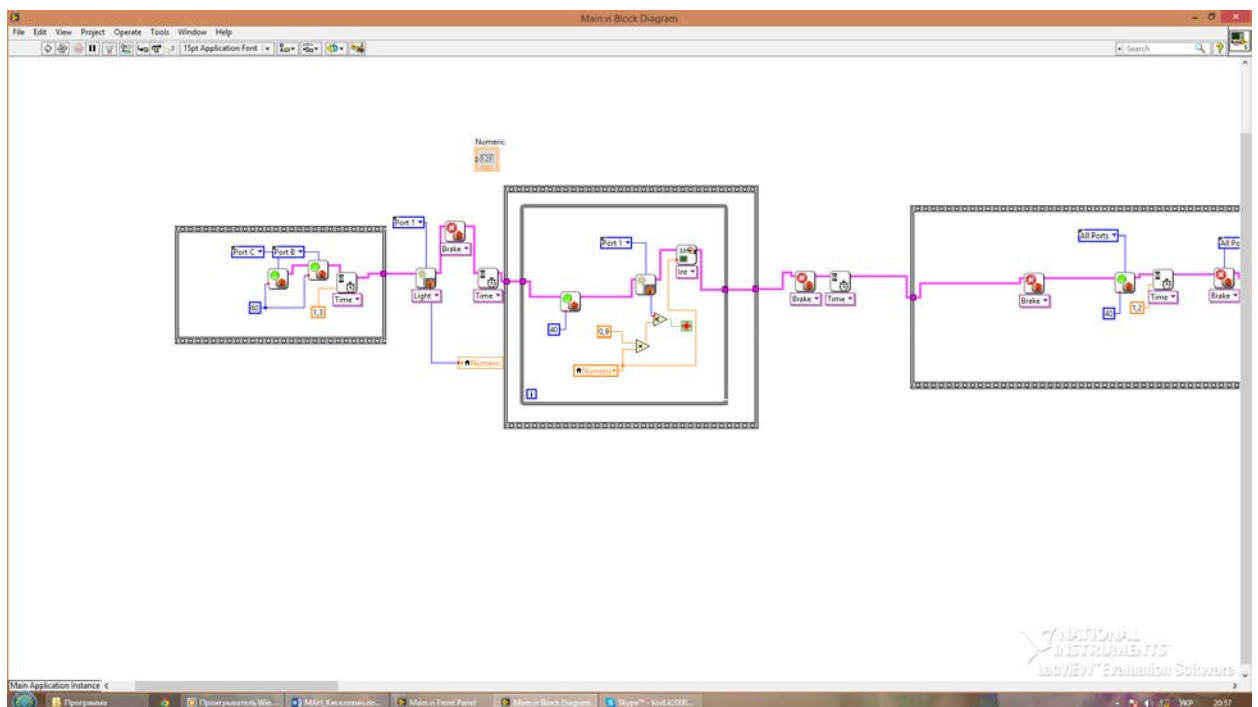
1. Дослідження механізму дії завад;
2. Для управління рухом;

Установка – це робот, що складається з 2 моторів, датчика руху.

*Рисунок*

6

*Програма*





*Рисунок 7 Робот*

Фактори впливу, які є визначальними для запрограмованого руху транспортного робота і самоконтролю його місцезнаходження

1. Каліброву сенсорів.
2. Адаптивну фільтрацію вимірювальних даних в залежності від рівня впливу зовнішніх завад на достовірність вимірювань. Отже робот зберігає усі данні в масиві і коли він з'ясує, що данні на цій місцевості данні є хибними він моделює поле та їде вже не по датчикам, а по попереднім даним.
3. Залежність від швидкості руху на прямих і криволінійних ділянках. При великій швидкості мотори можуть проскальзувати і тому, покази енкодерів будуть хибними. Тому ми маємо періодично скидати покази моторів.

## **2.2 Експеримент 1 Проїхати весь полігон**

Ставимо робота у початкову точку. Робот виїжає звідти керуючись датчиком руху і енкодерами. Далі він розвертається на  $90^0$  і їде по лінії. Потім повертає на 2 лінію проїжає її та їде на останню. Весь цей час

робот їде по чорній лінії. Здійснює це він за допомогою датчика освітленості. При їзді по лінії робот запам'ятовує своє положення і після проходження усього путі робот має майже ідеальну карту поля. Це надає нам можливість знайти найкоротший шлях від нашого положення до будь-якої точки.

Нажаль у конструкторі ЛЕГО точність моторів не ідеальна і час від часу є похибки, а на такій довгій дистанції як полігон, ці помилки накопичуються і робот може з'їхати з лінії.

Стартова позиція робота - датчик на білому. Побудуємо програмний регулятор, який забезпечить рух по дузі в бік чорного, поки робот на білому, і рух по дузі в сторону білого, поки робот на чорному. Для цього виключається або різко знижується потужність одного з моторів.



*Рисунок 8 Полігон*



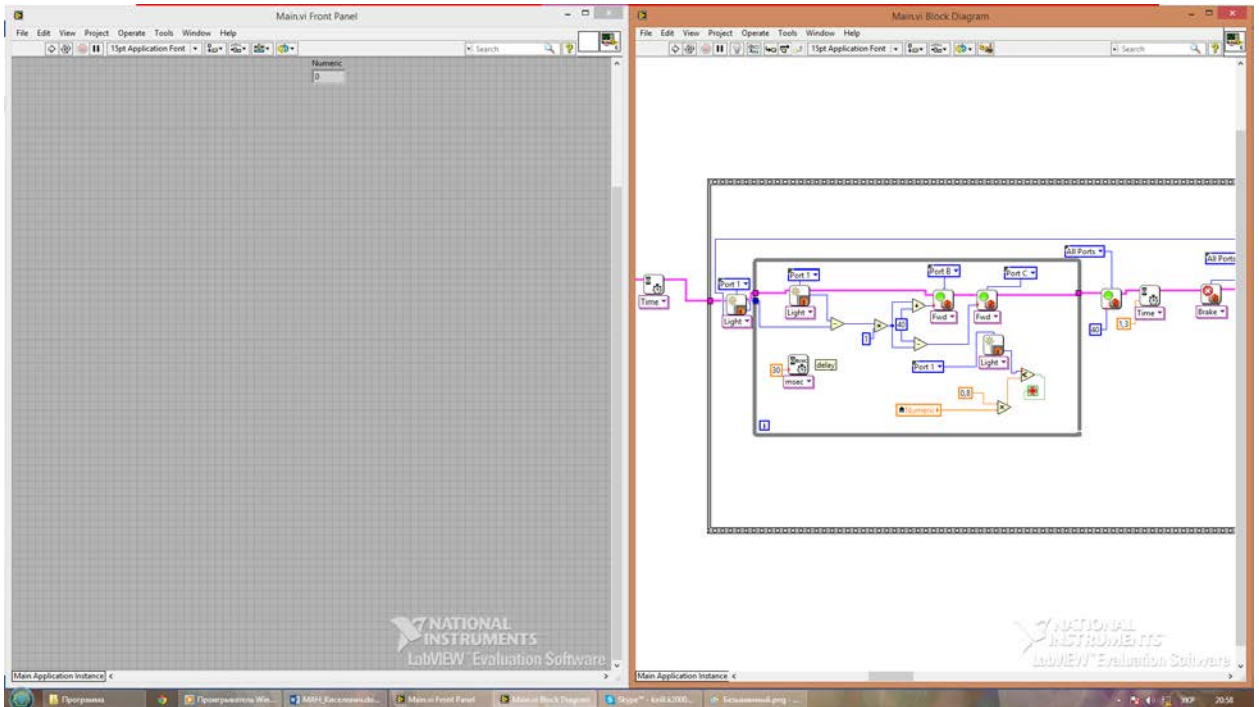


Рисунок 9 Основна частина програми

### 2.3 Експеримент 2 Калібрівка

Щоб запобігти вище описаними проблемам ми маємо робити калібрівку. При виїзді з зеленого ми маємо змогу зловити чистий білий та чистий чорний кольори. При різному освітленні будуть різні значення. За допомогою вимірів ми можемо дізнатися де нам потрібне яка частина від чорного. Отже за допомогою калібрівки наш робот працюватиме при усіх видах освітлення від самого великого до самого маленького однаково.

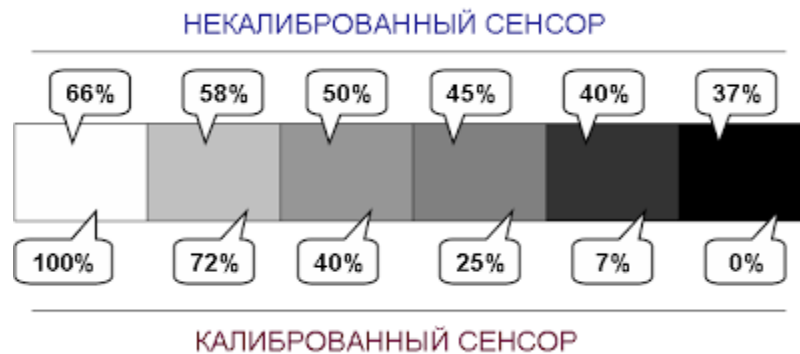
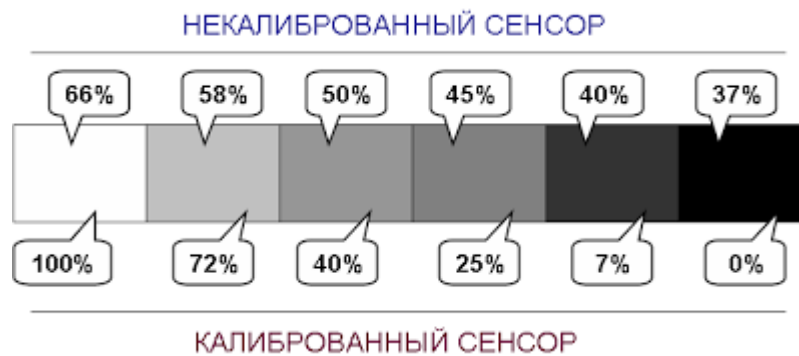


Рисунок 10 Калібрівка 1

Якщо в програмі робота використовує для внутрішніх операцій досить контрастні значення (дивіться, відносні позиції 58% і 45% практично залишилися незмінними), то можна бути впевненим, що після калібрування сенсора в змінених умовах освітлення, ці значення в програмі змінювати буде непотрібно.



*Рисунок 11 Калибровка 2*

### 2.4 Эксперимент 3 Завады на путі робота

У нашому випадку, завади можуть бути різні, це може бути об'ємна коробка, чи наклійки. Ми можемо продовжити сіре поле на перехрестях, що теж буде заважати роботу нормально їхати.

Давайте поставимо завади на шляху робота у вигляді чорних/білих плям. Як вже було сказано наш робот створює карту місцевості, і якщо він побачить, що він виїхав з лінії він знайде шлях до лінії і проігнорує сектор на якому він збився просто їхавши прямо. Отже ми можемо зрозуміти, що вести карту є одне з найважливіших і одна за найскладніших завдач, але побачити, що датчик показує неправильні данні теж дуже не просто. Для цього ми маємо вести масив показів робота. І кожне значення порівнювати з 20-30 попередніми. І хоча ми не можемо орієнтуватися на завадах, але ми можемо їх використовувати як мітки, бо після першого переїзду ми знаємо які будуть на ній покази. І можемо сказати точно де ми знаходимося на карті, і спокійно його об'їхати.

### 2.5 Эксперимент 4 Синхронізація

В результаті корегувань шляху робота мотори, а саме енкодер може раз синхронізуватися із датчиком, тому час від часу робот встає, після деяких рухів він знаходить середину лінії, скидає покази енкодерів, задає стандартне освітлення для датчика. Наш полігон є великим, але для того щоб робити на ньому синхронізацію разів 5 не достатньо. Як показала практика разів 2-4 вистачає. Якщо робити це занадто часто ми втратимо час.

### 2.6 Эксперимент 5. Висновок

Отже ми зробили конструкцію, яка може об'їхати весь полігон, ігнорує завади, знаходить найкоротший шлях і робить карту. Це буде дуже актуально і практично у житті, наприклад у дослідженні інших планет. При дослідженні нових місцевості, зокрема океанів, бо переробити програму під воду буде дуже не складно. Також ця програма буде працювати у будь-який час не залежно від освітлення.

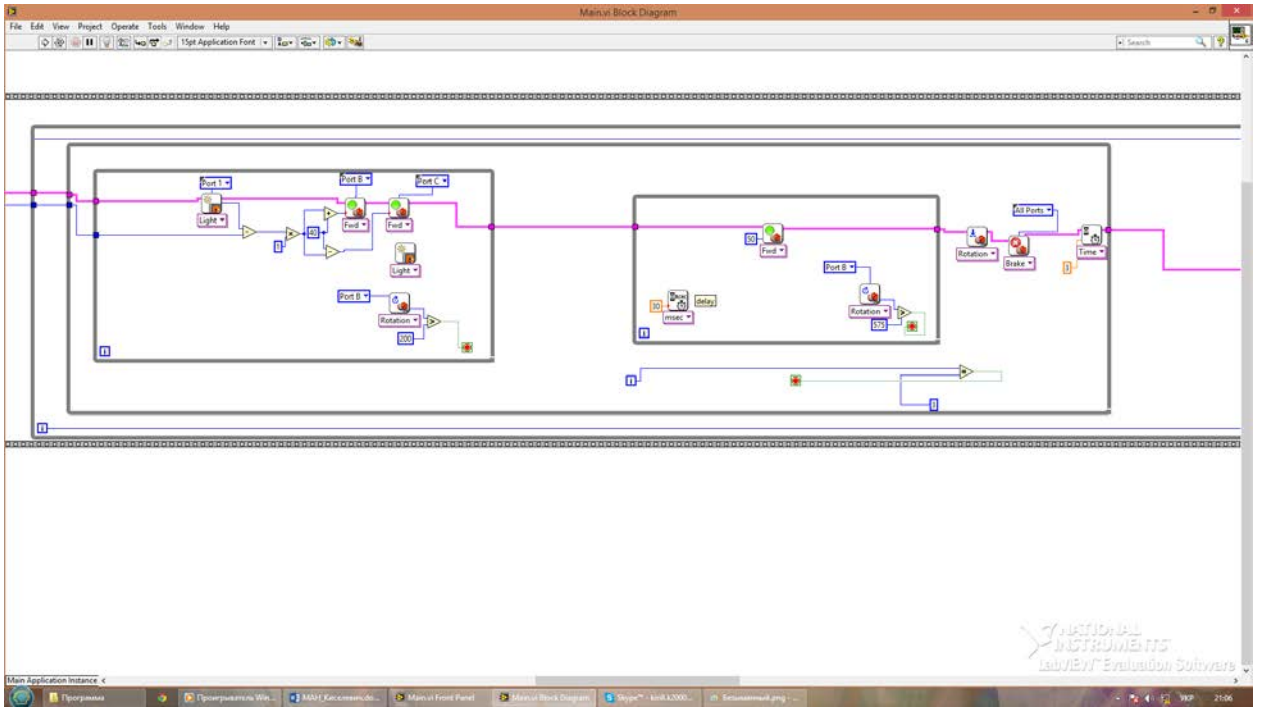


Рисунок 12 Кінець програми

## ВИСНОВКИ

В процесі роботи було проведено чотири експерименти з Отримані результати підтвердили теоретичні положення, що надані у першій частині роботи. Кожний з цих експериментів може бути відтворений, що підтверджує їх вірогідність.

В результаті роботи вдалося прийти до таких висновків: установка, що була розроблена для експериментів, цілком відповідає поставленим умовам, проста у роботі та використанні і надає цілковиту можливість проводити найрізноманітніші експерименти. Створюється установка з ЛЕГО конструктора.

Мій робот є дуже актуальним, бо роботи на подоби до мого використовуються у багатьох категоріях. Усі проблеми які я описав у своїй роботі є актуальними і для справжніх роботі, які працюють на інших планетах, тощо.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Книга робототехника Филипов
2. Википедия
3. <http://nnxt.blogspot.co.il/>
4. <http://robosport.ru/>
5. [https://wiki.nxtcrypto.org/wiki/Main\\_Page](https://wiki.nxtcrypto.org/wiki/Main_Page)
6. <http://stroylib.narod.ru/ted/zsl-tz53z/index.html>
7. [http://robototechnika.ucoz.ru/pdf/spravka\\_po\\_po\\_lego.pdf](http://robototechnika.ucoz.ru/pdf/spravka_po_po_lego.pdf)