

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КОНОТОПСЬКИ ІНСТИТУТ
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра електронних
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра
Сенсори присутності у регулюванні дорожнього руху

студента гр. ЕІ-71к

Ткаченко М.С.

Науковий керівник
к. ф.-м. н.

Бібик В.В.

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є перехрестя проспекту Миру та вулиці Лісового у місті Конотоп.

Мета роботи полягає у розробці комплексу рекомендацій, щодо використання тих чи інших сенсорів присутності у регулюванні дорожнього руху.

При виконанні роботи використовувалися теоретичні та практичні методи. Розглянуто оптичні, акустичні, індуктивні та радіолокаційні сенсори.

У результаті проведених досліджень встановлено, що в умовах світлофорного об'єкту на розі проспекту Миру та вулиці Лісового у місті Конотоп, для якісного поліпшення дорожньої обстановки доцільно використовувати, саме радіолокаційний сенсор типу FUERS TR-803, що задовольняє всі поставлені завдання.

Робота викладена на 35 сторінках, у тому числі включає 19 рисунків, список цитованої літератури із 27 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АКУСТИЧНІ СЕНСОРИ, ВІДЕОДЕТЕКТОРИ, ОПТИЧНІ ДАТЧИКИ, ІНДУКТИВНІ ДАТЧИКИ, РАДІОЛОКАЦІЙНИЙ СЕНСОР, КОМБІНОВАНИЙ ДЕТЕКТОР.

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ	4
1.1. Загальні відомості про інтелектуальні транспортні системи.....	4
1.2. Огляд літератури з досліджуваного питання.....	7
1.3. Існуючі аналоги систем управління дорожнім транспортом.....	11
РОЗДІЛ 2 ДАТЧИКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ	13
2.1. Класифікація датчиків дорожнього руху	13
2.2. Індуктивний датчик.....	14
2.3. Радіолокаційний детектор	18
2.4. Комбінований детектор.....	22
2.5. Відеодетектори.....	24
2.6. Ультразвуковий датчик з приймачем.....	26
РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОСЕНСОРУ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ	28
ВИСНОВКИ	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35

ВСТУП

Одним з найважливіших питань, з яким стикаються всі міста, це затори на дорогах. Потрапити в проміжки між інтенсивним рухом - це складне завдання для кожної людини, яка керує автомобільним транспортом, а також систем контролю дорожнього руху.

Традиційні світлофори мають вбудовані контролери та таймери з заданим фіксованим часом між сигналами.

Однак такий варіант регулювання рухом автотранспорту з фіксованим часом не зручний для міст, де потік руху є змінним. Тому в даний час актуальною є напрям розробки динамічної системи управління дорожнім рухом, яка розпізнаватиме щільність руху в тому чи іншому напрямі і відповідно до цього корегуватиме дорожню сигналізацію.

Завданням кваліфікаційної роботи є розглянути відомі підходи до організації систем динамічної світлофornoї сигналізації, провести аналіз різних типів сенсорів присутності з їх перевагами і недоліками використання та описати перспективи використання та впровадження даних систем в повсякденне життя містян.

Об'єкт дослідження кваліфікаційної роботи є перехрестя проспекту Миру та вулиці Лісового у місті Конотоп. А саме сформувані керуючий сигнал світлофора в залежності від транспортної обстановки на регульованому Т-подібному перехресті. У тому випадку, коли транспортні засоби по вулиці Лісового відсутні, система має забезпечити пропуск автомобілів по проспекту Миру. Якщо ж транспортні потоки з'являються на відповідній вулиці, система має отримати сигнал про їх наявність і перейти в режим регулювання проїзду перехрестя.

Метою дипломної роботи є розробка комплексу рекомендацій, щодо використання тих чи інших сенсорів присутності у регулюванні дорожнього руху.

РОЗДІЛ 1

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ

1.1. Загальні відомості про інтелектуальні транспортні системи

За рахунок використання сучасних новинок інформаційних технологій і засобів зв'язку - в управлінні системами дорожнього руху автомобільним та іншим транспортом дозволяє якісно підвищити ефективність і якість їх роботи. Тому системи дорожнього руху з використанням автоматизованих систем управління, побудованих на основі телематики, отримали у всьому світі спеціальну назву - інтелектуальні транспортні системи (ІТС). Відмітна ознака ІТС - автоматичне або автоматизоване керування рухом на дорожньому полотні в режимі реального часу та на об'єкти транспортної системи. Для цього в таких системах повинен надійно здійснюватися зворотний зв'язок, що забезпечить автоматичну передачу оперативних даних про ситуацію на тій чи іншій ділянці дороги в блок управління ІТС.

На рис. 1.1 приведена детальна класифікація ІТС за напрямками автоматизації транспортних систем.

Всі три зазначених в класифікації напрямки в даний час успішно розвиваються і мають приклади практичного застосування. Природно, що розробка і впровадження ІТС пов'язані зі значними витратами, але, з огляду на їх стратегічну значимість для розвитку транспорту, вкрай важливо готувати елементи цих систем і розвивати транспорт з урахуванням необхідності побудови в майбутньому комплексної ІТС.

Відповідно до концепції ІТС повинні будуватися концепції і конкретні плани розвитку дорожніх, вантажних і пасажирських транспортних систем.

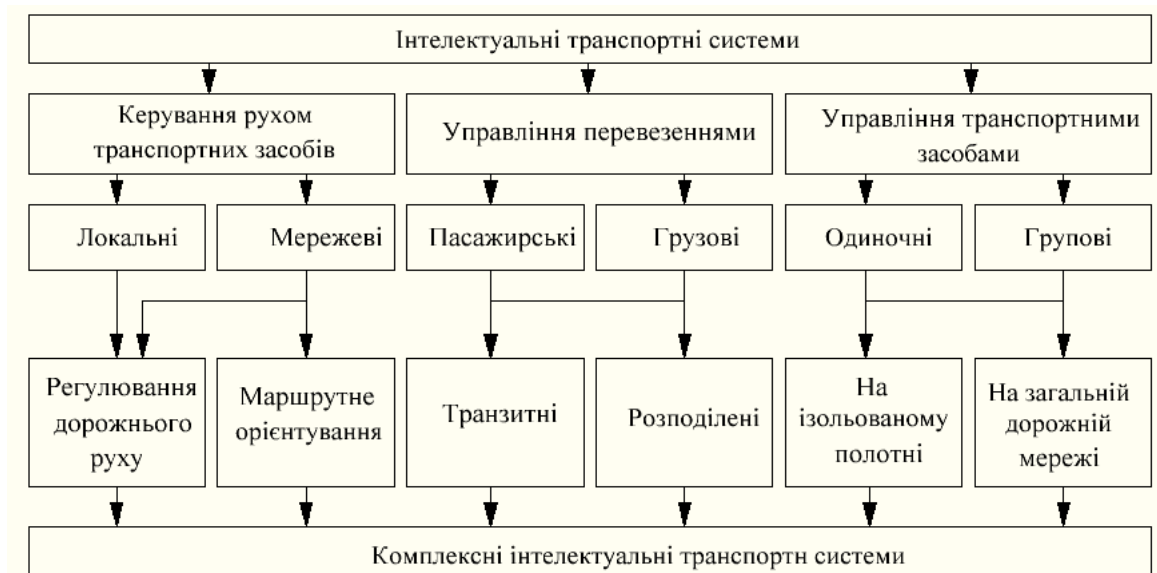


Рис. 1.1. Детальна класифікація інтелектуальних транспортних систем

Згідно F. D. Hobbs та іншим управління рухом є найважливішим елементом безпечної і ефективної експлуатації будь-якого транспорту [1]. Пробки на дорогах це головна проблема, з якою стикаються в наші дні столичні міста. Вона виникає, коли занадто багато транспортних засобів намагаються використовувати загальну транспортну інфраструктуру з обмеженою пропускнуою здатністю [2]. Таким чином, створення ефективної системи управління рухом дозволить уникнути багатогодинного перебування людей на заторах. Ефективна система також призведе до зниження вартості палива і скорочення часу поїздки. Менший час поїздки, у свою чергу, призведе до більш високої продуктивності людино-годин.

При меншій кількості транспортних засобів на дорогах метод звичайного регулювання в ті дні був ефективний. Зі збільшенням кількості транспортних засобів таке рішення перейшло до застарілих систем, які базувалися на логіці статичних переходів після фіксованої тривалості незалежно від будь-яких інших параметрів. У 1918 році Нью-Йорк став першим містом, де була введена триколірна система дорожньої сигналізації. Ця модель мала ручне керування з вишки посеред вулиці [3]. Але часи змінилися. Збільшилася кількість транспортних засобів на дорогах. Дотримання традиційної системи призведе до збільшення часу очікування,

що призведе до непотрібного збільшення часу поїздки і розчарування серед автомобілістів. Це вимагає нових рішень для полегшення потоку трафіку.

У пропонованому методі, управління трафіком здійснюється на основі щільності трафіку. Зазвичай спостерігається, що на окремих смугах руху протягом певного періоду часу є значно більша кількість транспортних засобів. Наприклад, на смугах, що ведуть в школи, університети, компанії мають значно більшу кількість транспортних засобів в години пік рано вранці в порівнянні з смугами на зворотному шляху додому. Під час пізнього вечора відбувається зворотне. Таким чином, надання більш високого пріоритету смугам з великою кількістю транспортних засобів автоматично призведе до вільного руху в години пік. Це також призведе до меншого середнього часу поїздки. Оскільки безпека автомобілістів є головною метою, очікується, що транспортні засоби на менш пріоритетних смугах будуть чекати довше, ніж зазвичай.

Для вирішення завдання регулювання змінного транспортного потоку замість звичайної системи управління дорожнім рухом автором С. Суреш Кумар та ін. [4] говориться: "традиційна система управління дорожнім рухом в Індії неефективна через зміну щільності руху на дорогах, а відмова сигналів і відсутність інтелекту для сигналів дорожнього руху призвели до заторів на дорогах". В даний час також зросло виробництво автоматизованих транспортних засобів. Вони вважаються черговим технологічним проривом в галузі транспорту [5]. Це означало б, що ефективна система управління дорожнім рухом призведе до численних переваг за умови, що транспортні засоби будуть дотримуватися правил дорожнього руху на відміну від людей, які останнім часом активно порушують правила дорожнього руху через неуважність та перенапружений спосіб життя.

За допомогою концепції змінного транспортного потоку ми отримуємо життєздатне рішення для деяких поточних проблем:

- економія на іноземній валюті за рахунок скорочення імпорту сирої нафти;
- запобігайте забрудненню повітря за рахунок скорочення викидів транспортних засобів;

- запобігання виникненню дорожньої люті, що відбувається через розчарування від довгих заторів.

Оскільки темою дипломної роботи є використання сенсорів присутності у регулюванні дорожнього руху, розглянемо нижче основні напрями даного питання.

1.2. Огляд літератури з досліджуваного питання

Автор К.Неллор та ін. [6] класифікує дорожній рух на повторювані і неповторювані затори. Повторювані затори можуть бути легко усунені, оскільки схема руху зберігає регулярність по відношенню до часу і місця. Однак повторювані затори важко ідентифікувати, так як схема руху не є фіксованою і непередбачуваною. Повторювані затори виникають через несподівані ситуації, такі як кліматичні зміни, фестивалі та дорожньо-транспортні пригоди.

Для того щоб контролювати трафік, необхідно визначити щільність трафіку, автор N K Jain та ін. [7], описує різні системи моніторингу дорожнього руху. Одним з таких методів є технологія детектора трафіку Situ. Ґрунтуючись на установці детектора на дорожньому покритті або під ним, цю техніку можна далі розділити на інтрузивну і неінтрузивну технологію. Інтрузивна техніка викликає порушення руху там, де неінтрузивна викликає мало або взагалі не викликає ніяких порушень. Для того, щоб контролювати рух транспорту, автор пропонує сенсорну техніку, в якій різні датчики кріпляться до рухомих транспортних засобів. Ці рухомі пристрої (транспортні засоби) призначені для взаємодії з центральною системою моніторингу дорожнього руху. На основі даних датчиків центральна система моніторингу бере на себе управління рухом транспорту. В іншому варіанті прямий відеопотік подається з камер на перехресті для збору даних про дорожній рух. За допомогою обробки відео і зображень можна розрахувати щільність трафіку.

Автор С. Парех та ін. [8] пропонує рішення на аналогічних лініях для визначення щільності руху за допомогою декількох ПЧ-датчиків шляхом класифікації щільності транспортних засобів на смугах руху на три різних рівня. Розділивши смуги руху на блоки і розмістивши сенсорні сітки під дорогами, можна

отримати помилкові результати. У статті, опублікованій в BBC News [9], в якості однієї з причин великого числа аварій називався поганий стан доріг. Якщо дороги знаходяться в такому стані, то використання сенсорних сіток під дорогами не тільки буде причиною їх можливого пошкодження, але і призведе до помилкових результатів при недотриманні стандартів. Будь-які зміни в сітках означали б високі витрати на технічне обслуговування, враховуючи той факт, що робота на верхньому шарі і через нього також буде враховувати витрати.

Р. Сундар [10] також пропонує методику, що використовує датчики радіочастотної ідентифікації (RFID). Він оснащує кожен автомобіль RFID-міткою. Коли він знаходиться в зоні дії RFID-зчитувача, надсилається сигнал, який вказує на його присутність. Це дозволяє системі відстежувати кількість транспортних засобів, а отже, обсяг заторів. Ґрунтуючись на розрахункових значеннях, він встановлює світлофори відповідним чином. Головною новизною рішення є його здатність кліренсу транспортного засобу під час надзвичайних ситуацій. Це досягається за допомогою передавача і приймача ZigBee на транспортному засобі і транспортному вузлі відповідно. Перевагою даного підходу є те, що він також призначений для відстеження вкрадених транспортних засобів, зіставляючи RFID-мітку зниклих транспортних засобів з RFID-мітками активних сигналів і в разі виявлення попереджає відповідні органи. Основне завдання в цьому рішенні полягає в тому, щоб видати унікальну RFID-мітку для кожного транспортного засобу на дорозі, включаючи існуючі, а також забезпечити неруйнівну RFID-мітку.

S. Misbahuddin та ін. [3] пропонує рішення для управління трафіком на основі інтернет систем для розумних міст. Запропонована методика динамічно управляє трафіком за допомогою смартфонів, керованих локальним співробітником ГАІ. Одноплатний комп'ютер, такий як Raspberry Pi, прийнятий з мережевою функцією, використовується для взаємодії з зовнішньою схемою. Цей метод може бути ще більш вдосконалений, якщо дані про дорожній рух автоматично передаються в блок Raspberry Pi, який контролює світлофори на перехресті, щоб влада могла швидко приймати рішення. Використання мобільного агента в рамках автомобільної спеціальної мережі (VANET) для автоматичного управління трафіком

запропоновано M. Rath та ін. [11]. Функція мобільної агентурної поліпшеної системи управління дорожнім рухом (MITS) спрацьовує, коли будь-який розумний автомобіль входить в зону VANET. MITS підраховує кількість транспортних засобів і при перевищенні порогового значення датчиків спрацьовує сигналізація. Це запобігає подальшому потраплянню транспортних засобів в мережу. Для запобігання заторів транспортні засоби також перенаправляються в залежності від їх вибору. Збільшення кількості власників транспортних засобів збільшує проблему управління дорожнім рухом.

Традиційний метод управління дорожнім рухом включає в себе моніторинг швидкості транспортного засобу за допомогою камер, перевірку забруднення навколишнього середовища і так далі. Збільшення кількості транспортних засобів викликає незручності при застосуванні вищевказаних методів. Автор Dandala [12] пропонують систему управління дорожнім рухом на основі IoV для управління дорожнім рухом, виявлення аварій, запобігання крадіжкам і т. д. Однак автор також відзначив недолік IoV в управлінні трафіком з точки зору безпеки і збою мережі. Датчики поміщаються в фіксоване положення для збору генерованих даних. Ці дані передаються на центральний сервер для управління і зв'язку з різними пристроями. Велика кількість транспортних засобів на одній ділянці викликає затори. Автор Kumar та ін. [13] припускає, що ця загальмованість може бути зменшена, якщо транспортні засоби управляються з перенаправленням. Пропонований метод демонструється поділом карт вулиць на невеликі окремі карти. Для того щоб знайти оптимальний шлях, потім застосовується алгоритм мурашиної колонії. Для моделювання інтенсивного руху пропонується функція розрахунку інтенсивності руху на основі нечіткої логіки.

M. Wiering [14] пропонує рішення, яке використовує алгоритми навчання підкріплення (НП) для навчання контролерів світлофорів, щоб мінімізувати загальний час очікування транспортних засобів. L. Pask Kaelbling та ін. стверджує, що "навчання підкріпленню - це проблема, з якою стикається агент, який вивчає поведінку шляхом проб і помилок взаємодії з динамічним середовищем" [15]. Рішення визначає порядок очікування, що складається з транспортних засобів, які

будуть негайно вирішені сигналом світлофора, і спрямоване на мінімізацію сукупного часу очікування. Він також пропонує два підходи до роботи: на основі світлофорів або на основі автомобільних контролерів. Перевага переходу на RL полягає в наступному, що агент не тільки вивчає політику, взаємодіючи з середовищем, яке забезпечує зворотний зв'язок, але і вчиться оновлювати функцію оцінки дій після кожної виконаної дії. Автор також відзначив недоліки, очевидно, що обчислення загального часу поїздки для всіх транспортних засобів є складним завданням, і навіть якщо б воно було обчислено, то розроблена система не змогла б передати інформацію, щоб вона при цьому залишилася придатною для використання.

За подібними лініями глибоке Q-навчання було також розгорнуто в підході X.Liang [16]. Він спрямований на оптимізацію тривалості світлофора, приймаючи інформацію про дорожній рух в режимі реального часу і динамічно регулюючи його відповідним чином. Для подолання великої кількості станів у системі управління дорожнім рухом у транспортних мережах рішення вибирає згорткову нейронну мережу (ЗНМ) для наближення значення Q. Дії моделюються, як марковський процес прийняття рішень, а винагорода - це сукупна різниця в часі очікування між двома циклами. Автори також рекомендують використовувати подвійну дуельну мережу deep Q для обробки складних сценаріїв трафіку. Вони також заявляють про скорочення середнього часу очікування на 20%. Основною проблемою, з якою може зіткнутися модель, буде нестійкий трафік в режимі реального часу, щоб модель могла реагувати на умови протягом обумовленого часу.

S.K. Kumaran та ін. [17] пропонують вирішення проблеми тимчасової кластеризації оптичних характеристик потоку рухомих транспортних засобів з використанням моделі тимчасової невідомої інкрементної кластеризації (ТНІК). Запропонована методика також претендує на поліпшення продуктивності кластеризації в порівнянні з використанням вибірки Гіббса у результаті, запропонованої автором K.K. Santhosh та ін. [18]. Розроблений алгоритм оптимізації середнього часу очікування пропускної здатності використовує лічильник кластерів,

який діє як міра прогнозування тривалості фаз трафіку, отже, максимізує пропускну здатність і мінімізує середній час очікування.

1.3. Існуючі аналоги систем управління дорожнім транспортом

Прототип системи управління сигналами дорожнього руху може бути виготовлений з використанням ПЧ-датчиків разом з мікроконтролером та світлодіодами, що може бути корисним для застосування в реальному часі контролю дорожньої сигналізації на основі щільності руху. Розглянута тут розв'язка являє собою 4-бічну розв'язку з потоком руху з кожної сторони лише одним способом. Система складається з наступних трьох основних компонентів:

1) блок дисплея: який складається з 3 світлодіодів - зеленого, червоного і бурштинового на кожній стороні переходу, загалом 12 світлодіодів;

2) детекторний блок: який складається з компонування фотодіодів та ІК-світлодіодної комбінації на кожному перехресті, яка виявляє присутність транспортних засобів, виявляючи зміну опору;

3) блок контролера: який складається з мікроконтролера, що приймає вихідний сигнал ПЧ-датчика і відповідно контролює свічення світлодіодів [19.].

Прототип управління кількістю транспортних засобів на основі щільності показано на рис. 1.2-1.3.

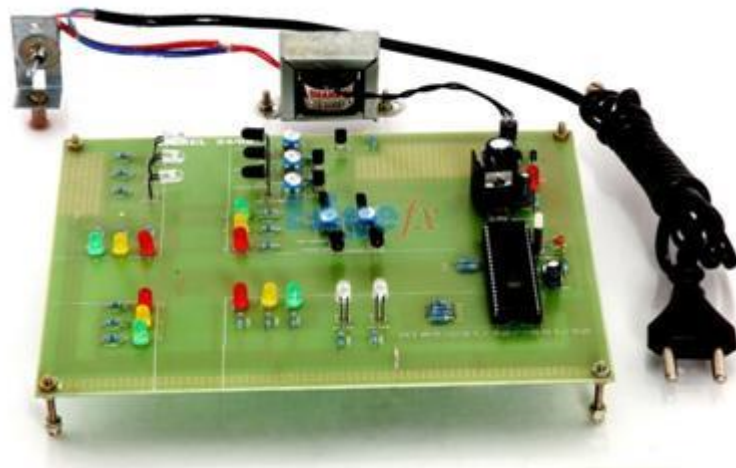


Рис. 1.2. Прототип управління дорожніми сигналами на основі щільності [19.]

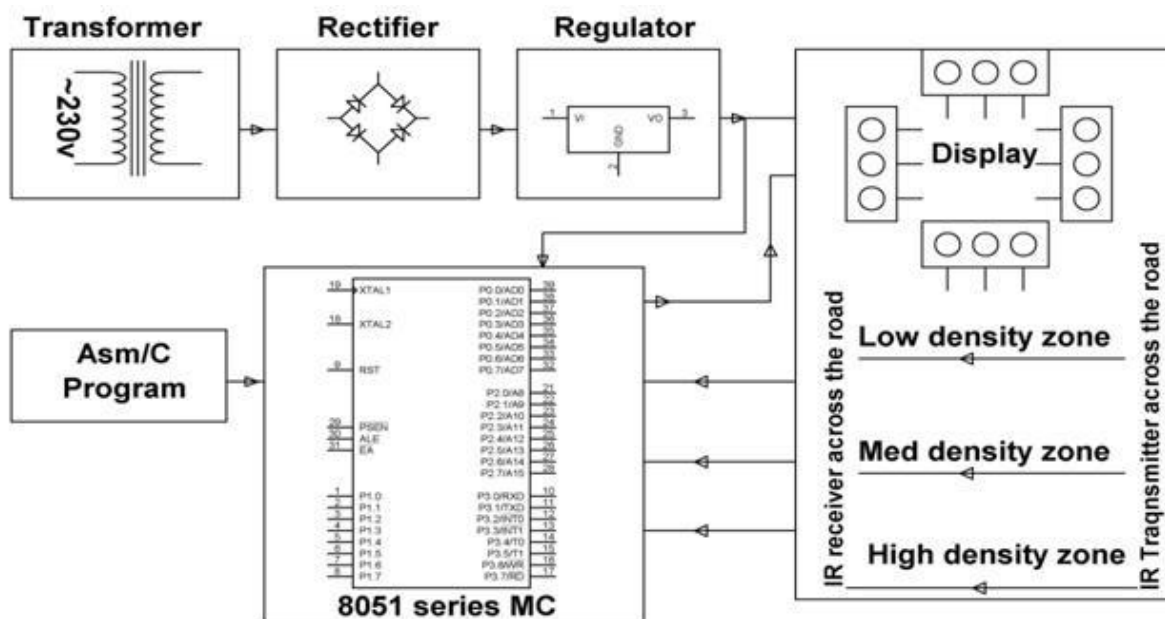


Рис. 1.3. Блок-схема, що показує керування сигналами дорожнього руху на основі щільності [19.]

У звичайних умовах, тобто коли на дорозі немає транспортного засобу, ІЧ-передавач або ІЧ-світлодіод пропускають ІЧ-світло, яке приймає фотодіод, що його проводить. Під час проведення фотодіод проводить, відповідний транзистор також проводить, видаючи мікроконтролеру вихід низького логічного сигналу. Той самий принцип працює для всіх інших компонентів ІЧ-датчика-транзистора. Мікроконтролер змушує кожен світлодіод світитися протягом фіксованого періоду часу [19.].

Тепер, якщо є транспортні засоби, зв'язок між ІЧ-передавачем і приймачем переривається, тобто фотодіод отримує менше або зовсім не отримує світла від ІЧ-діода, і відповідно базовий струм на транзисторі зменшується, зрештою змушуючи провідник перейти до вимкненого стану. Це спричиняє вихід високологічного сигналу з транзистора на мікроконтролер. Відповідно, мікроконтролер змінює час світіння зеленого світлодіода відповідного переходу на більш високе значення.

Таким чином, із збільшенням кількості транспортних засобів зелене світло світиться більше часу, забезпечуючи швидкий потік руху зі сторони розв'язки.

РОЗДІЛ 2

ДАТЧИКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

2.1. Класифікація датчиків дорожнього руху

Ідентифікація транспортних засобів є найважливішим компонентом будь-якої системи управління дорожнім рухом. Завдяки використанню датчиків ідентифікації здійснюється зворотний зв'язок між центральним пунктом управління і дорожньою мережею. Сутність зворотного зв'язку в контурі автоматичного управління полягає в зборі інформації про параметри транспортних потоків [18].

Класифікація датчиків дорожнього руху, які використовуються для ідентифікації транспортних засобів, наведена на рис. 2.1.

За принципом дії датчики дорожнього руху можна поділити на три групи: контактної типу; випромінювання; вимірювання параметрів електромагнітних систем.

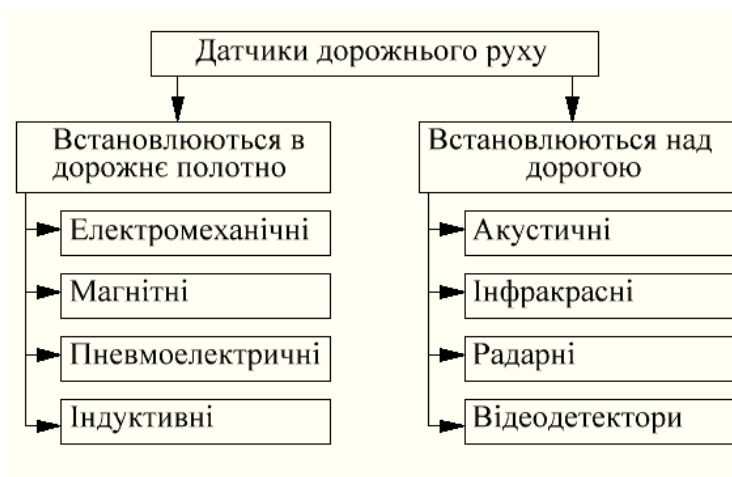


Рис. 2.1. Класифікація найбільш поширених датчиків дорожнього руху

Датчики контактної типу (електромеханічні, пневмоелектричні і т.п.) не отримали поширення в системах управління дорожнім рухом через низьку надійність, залежно від метеоумов і складності обробки одержуваних даних, так як вони реєструють не чисельність транспортних засобів, а число осей. Такі типи датчиків частіше використовують в помешканнях [19].

Серед датчиків, що встановлюються безпосередньо в дорожньому полотні, найбільшого поширення набув індуктивний датчик, що відрізняється від інших типів датчиків простотою конструкції, надійністю роботи і більш низькою вартістю. Даний тип датчика розглянемо більш детально в наступному підрозділі.

2.2. Індуктивний датчик

Індуктивний датчик (рис. 2.2) є одним з видів безконтактних датчиків, що працюють на основі робочого принципу трансформатора. Він використовується для визначення положення і швидкості. Для його конструкції використовується котушка або індуктор. Звідси і назва індуктивного датчика [20].

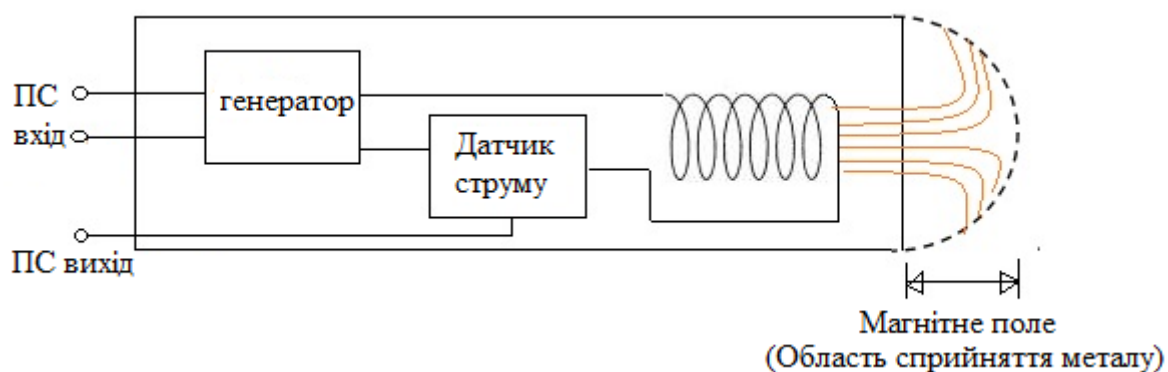


Рис. 2.2. Конструкція індуктивного датчика [20]

На рисунку показаний індуктивний тип датчика наближення, який працює за принципом індуктивності. Зробити цей тип датчика дуже просто. Існує чотири основні необхідні компоненти, а саме: котушка, генератор, схема виявлення і схема виведення. Генератор буде створювати коливальне магнітне поле навколо котушки. Ця котушка розташована поруч з виявленим пристроєм. Вихровий струм, створюваний на металевому об'єкті, зменшує власні коливальні поля датчика. Схема виявлення буде контролювати цю силу генератора і запустить вихід, коли він опуститься нижче порогового значення.

Датчик наближення Siemens є одним з таких датчиків, який вимірює об'єкт, що наближається на відстань близько 0-3 мм з частотою 250 Гц. Модель simatic-PSI920 має розмір рамки M12 і має ступінь захисту IP67. Він виробляє вихідну напругу в діапазоні від 0 до 10 В, пропорційне відстані об'єкта від датчика.

В індуктивному датчику використовуються наступні два принципи:

1) потік флуктууючого струму через провід викликає генерацію магнітного поля (H);

2) коливання магнітного поля навколо будь-якого провідного тіла викликають протікання струму в провіднику.

Датчик наближення є одним із прикладів індуктивного датчика. Він використовує джерело живлення, яке змушує змінний струм текти в котушці. Коли транспорт наближається до котушки, імпеданс котушки змінюється, і це вказує на те, що він присутній. Даний тип датчика використовується для виявлення присутності / відсутності людей, а також металевих предметів поблизу датчика. Індуктивний датчик також відомий, як індуктивний безконтактний перемикач через його два можливих вихідних стани.

Індуктивний датчик використовується для широкого спектру застосувань, а саме: верстати, щоб відчувати металеві цілі і так далі.

Переваги індуктивного датчика:

- витримує суворі умови навколишнього середовища;
- має більш тривалий термін служби;
- дуже простий в установці;
- має дуже передбачувані результати і продуктивність;
- має більш високу швидкість перемикачання [20].

Недоліки індуктивного датчика полягають в тому, що:

- діапазон чутливості індуктивного датчика залежить від типу виявленого металу, його форми, розміру, а також розміру котушки, використовуваної в конструкції. З вищевказаної причини індуктивний датчик має обмеження по відстані для вимірювання;

- він може виявляти тільки металеві цілі.

Форма індуктивної петлі датчика повинна бути обрана, виходячи з умов і розміру об'єкта. Чутливість оптимальна, якщо петля не більш, ніж виявляється об'єкт.

В іншому випадку на індуктивність петлі будуть впливати інші транспортні засоби, що проходять поза зоною детектування. Збільшення розміру петлі зменшить зміну індуктивності, що викликається проїздом транспортних засобів. Наприклад, якщо транспортний засіб змінює індуктивність на 1% при проїзді над петлею розміром 1,8 на 1,8 м, те ж саме транспортний засіб змінить індуктивність на 0 5% при проїзді над петлею розміром 1,8 на 3,6 м.

Прямокутна форма петлі найбільш підходить для того, щоб виявляти легкові автомобілі та вантажівки. Петлі, встановлені під кутами 45° щодо дороги, ідеально підходять для виявлення велосипедів. Петля в формі вісімки встановлюється перед залізничними коліями. [20]

Індуктивні датчики по конструкції індуктивної петлі можна поділити на такі види:

- датчики з малою областю виявлення, зазвичай складаються з єдиної короткої петлі середнім розміром 1,8 на 1,8 м; як правило, можна використовувати для виявлення автомобілів, що наближаються до світлофора для управління його роботою;

- датчики з великою областю виявлення, застосовувані для фіксації присутності транспортного засобу в зоні контролю (до 20 м), що дозволяє реалізувати алгоритм адаптивного управління на основі пошуку розриву в транспортному потоці. В якості такого виду датчиків використовують довгі індуктивні петлі, які останнім часом для підвищення надійності замінюють на кілька послідовних коротких петель, встановлюваних уздовж дорожнього полотна перед стоп-лінією. Для реалізації широкої зони виявлення транспортного засобу використовують широкі індуктивні петлі, що застосовуються для продовження зеленого сигналу в разі утворення затору. Коли автомобілі займають всю зону детектування рамки, відбувається продовження горіння зеленого сигналу на цей

напрямок. Якщо немає повного заповнення цієї зони (автомобілі розташовані не на всіх смугах), продовження дозволяючого сигналу не відбувається [19].

За допомогою індуктивних датчиків можна реалізувати такі керуючі впливи з управління дорожнім рухом:

- визначення моментів часу проїзду транспортного засобу над певним перетином дороги;
- визначення інтенсивності транспортного потоку і об'єму руху за проміжок часу будь-якої тривалості;
- визначення середньої просторової швидкості потоку на заданій ділянці дороги;
- виявлення затору на заданій ділянці дороги;
- визначення щільності потоку на заданій ділянці дороги;
- визначення довжини черги автомобілів біля перехрестя в заданому напрямку.

Індуктивні датчики широко використовують для надання пріоритету в русі громадському транспорту. Найчастіше застосовують різні пристрої, які формують керуючий імпульс, який розпізнається контролером. Після цього алгоритм управління виробляє рішення про продовження горіння або включення зеленого сигналу світлофора. При наявності виділеної смуги для руху громадського транспорту можуть використовуватися дві послідовно встановлені індуктивні петлі. Контролер отримує сигнал одночасно від двох датчиків, якщо по смузі рухається автобус, тоді як легковий автомобіль не може одночасно зайняти простір над двома датчиками. [20]

Датчики, що встановлюються над дорогою, характеризуються більш простою установкою, але є більш дорогими у порівнянні з індуктивним детектором, точність їх показань в більшій мірі залежить від метеоумов. Найчастіше для фіксації присутності транспортних засобів з цієї групи датчиків використовують акустичні та інфрачервоні.

2.3. Радіолокаційний детектор

У Росії найбільшу популярність отримав радіолокаційний детектор транспортних засобів. Детектор може бути використаний для роботи в автоматизованих системах контролю дорожнього руху (АСКДР), адаптивного управління рухом транспортних засобів, контролю інтенсивності руху, контролю на в'їздах-виїздах швидкісних доріг, проведення транспортних обстежень, автоматичного виявлення ДТП і так далі.

Принцип роботи детектора заснований на безконтактному зондуванні проїжджої частини дорожнього полотна сигналом надвисокої частоти з лінійної частотної модуляцією. Одночасно він може охопити кілька смуг. Детектор монтується (рис. 2.3) на опорах освітлення, опорах контактної мережі, стінах будівель або інших штучних спорудах, розташованих збоку від проїзної частини, встановлюється і налаштовується без зупинки руху транспортних засобів.

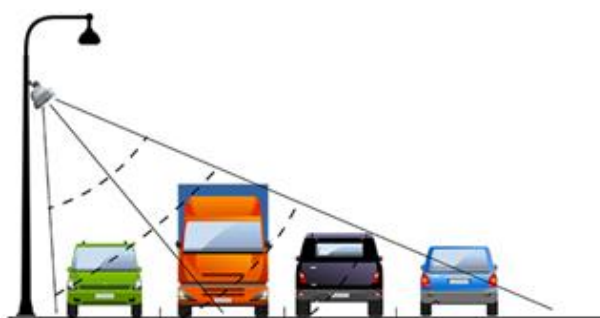


Рис. 2.3. Розміщення радіолокаційного детектора [21]

В склад комплексу з детектором радіолокаційного типу (рис.2.4) входять:

- детектор RTMS;
- телекомунікаційна шафа;
- джерело безперебійного живлення;
- акумулятор;
- роутер GSM / GPRS;
- електрозахисна автоматика;
- засоби моніторингу;
- кліматична установка [21].



Рис. 2.4. Склад комплексу з детектором радіолокаційного типу [21]

Детектор виконує дві основні функції:

- реєструє наявність рухомих транспортних засобів в зонах контролю;
- веде статистичний облік динамічних параметрів транспортних потоків (загальне число транспортних засобів, що пройшли зону контролю; зайнятість зони контролю як відношення часу, протягом якого зона контролю була зайнята транспортним засобом, до часу статистичного обліку; середня швидкість транспортного потоку; число довгомірних транспортних засобів) .

Дані відомості можуть накопичуватися у внутрішній пам'яті детектора для подальшого зчитування або відразу передаватися в АСКДР.

Прикладом даного типу датчиків є відео-, теплові та радіолокаційні датчики FLIR – це високонадійні, точні та непроникливі технології виявлення, спеціально розроблені для управління сигналами та управління дорожнім рухом. Визначаючи транспортні засоби настільки ефективно, датчики FLIR забезпечують інтелектуальне управління перехрестям для більшої безпеки, як і у незліченних містах, які вже впровадили технологію FLIR на перехрестях.

Датчики FLIR дозволяють включити рух пішоходів (рис. 2.5) до стратегій управління дорожнім рухом та зробити їх більш помітними для дорожнього руху. Завдяки динамічному керуванню світлофором та активації попереджувальних знаків

оператори можуть зробити перехрестя та пішохідні переходи безпечнішими, одночасно запобігаючи непотрібним затримкам як пішоходів, так і автомобілістів [22].



Рис. 2.5. Безпека та рухливість пішоходів [22]

Переглядаючи теплові сигнатури, теплові камери можуть достовірно розрізнити велосипедистів (рис. 2.6) та транспортні засоби. Сигнали дорожнього руху можуть бути адаптовані, щоб дати велосипедистам зелений час попереду руху транспорту для більшої видимості. Виявлення велосипедів забезпечить довший час пропуску велосипедистів, що дозволить їм більше часу перетинати перехрестя, не викликаючи зайвих затримок.

Теплова та візуальна аналітика FLIR забезпечує керування сигналами дорожнього руху в режимі реального часу шляхом виявлення присутності транспортних засобів, велосипедистів та пішоходів на перехрестях. Це генерує цінні дані про дорожній рух, включаючи кількість, заповнення, класифікацію на зупинці та між перехрестями [22].



Рис. 2.6. Виявлення велосипедів [22]

Анонімно використовуючи технологію Wi-Fi для відстеження руху людей та транспортних засобів на перехрестях, датчики FLIR вимірюють час у дорозі, затримки, пункти відправлення та пункти призначення. FLIR інтегрує як дані про присутність, так і дані про рух трафіку в одне джерело в хмарі, що призводить до отримання високоякісних даних перетину (рис. 2.7-2.8).



Рис. 2.7. Аналіз даних з високою роздільною здатністю [22]

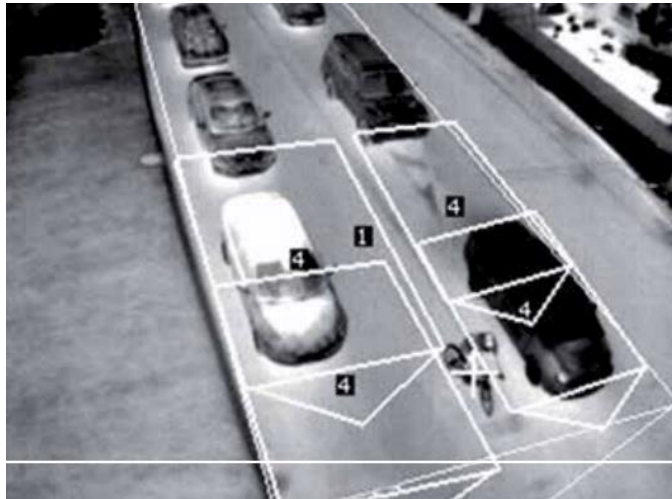


Рис. 2.8. Детектори та датчики FLIR для управління дорожніми сигналами [22]

2.4. Комбінований детектор

Необхідність використання комбінованих детекторів викликана тим, що застосування більш простих пристроїв не дозволяє з задовільною точністю визначати всі параметри транспортних потоків. Комбінований детектор включає в себе наступні пристрої:

- мікрохвильовий радар, що забезпечує вимір швидкості руху кожної транспортної одиниці;
- ультразвуковий детектор, що забезпечує класифікацію транспортних засобів по скануванню їх профілів, а також індикацію стоять транспортних засобів;
- багатоканальний інфрачервоний детектор, що забезпечує підрахунок і уточнення інтенсивності руху та зайнятість смуги руху. Якщо активізований режим економії електроенергії, цей детектор застосовується також для включення і виключення радара.

Комбіновані детектори встановлюють над кожною смугою руху.

Прикладом такого датчика можна назвати ASIM TT 298 (рис.2.9) – це дорожні детектори потрійної технології ASIM компанії Xtralis використовують комбінацію радара Доплера, ультразвукової та пасивної інфрачервоної технології для визначення об'єктів. Пристрій виконаний в єдиному корпусі. Використання потрійної технології дозволяє гарантувати високу точність вимірювань даних

дорожнього потоку: швидкість транспортних засобів, клас транспортного засобу (ТЗ), довжину ТЗ. Робота комплексу не залежить від погодних умов, часу доби і дорожньої ситуації [23].



Рис. 2.9. Зовнішній вигляд датчика ASIM TT 298 [23]

Комбіновані датчики ASIM вимірюють швидкість кожного транспортного засобу за допомогою доплерівського ефекту. Ультразвуковий датчик сканує профіль висоти транспортного засобу, коли він проходить під детектором. ІЧ датчик надає інформацію про положення в смузі і запускають ультразвукове вимірювання.

У режимі економії живлення ІК також активують радар.

Комбіновані датчики ASIM легко встановлюються на опору (рис. 2.10) або інші конструкції розташовані на дорозі, або на щоглу поруч зі смугою руху [23].

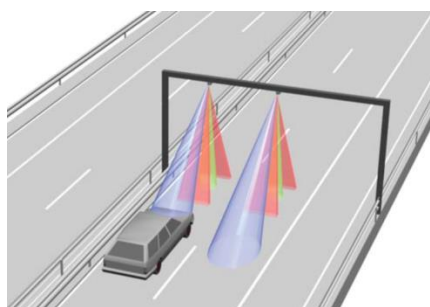


Рис. 2.10. Установка комбінованого датчика [23]

Висока точність вимірювань досягається завдяки:

- використанню трьох незалежних технологій в єдиному пристрої;
- резервованої цифрової обробки сигналів (DSP) з адаптивними параметрами;
- компенсації температури.

Комбіновані Детектори ASIM ідеально підходять для збору інформації в системах аналітики та управління трафіком, як заміна індукційних петель [23].

2.5. Відеодетектори

Найбільш перспективними датчиками вважаються відеодетектори (ВД) (рис.2.11). Система складається з однієї або декількох відеокамер, сигнали від яких обробляються спеціальним швидкодіючим програмним забезпеченням, що дозволяє пристрою виконувати наступні функції:

- виявлення і контроль рухомих і нерухомих транспортних засобів на регульованих перехрестях;
- визначати загальне число минулих транспортних засобів по кожній смузі руху за заданий проміжок часу;
- класифікувати минулі транспортні засоби за типами: мотоцикли, легкові автомобілі, пікапи і малі вантажівки (довжиною менше 12 м), автобуси, великі вантажівки (довжиною понад 12 м);
- підраховувати середню швидкість руху по кожній смузі для різних типів транспортних засобів;
- визначати заповнення кожної дорожньої смуги транспортним засобом (якщо транспортні засоби в момент закінчення заданого періоду часу спостереження не рухаються або рухаються зі швидкістю менше 5 км/год, ситуація на дорозі класифікується як транспортна пробка);
- фіксувати відстань між транспортними засобами для кожної смуги руху;
- збір даних про дорожній рух (обсяг, швидкість, класифікація і т.д.), контроль транспортного потоку, виявлення пробок на шосе і міжміських дорогах в тимчасових або постійних застосуваннях [19].

Одна відеокамера дозволяє одночасно зчитувати дані з чотирьох смуг руху. Істотним достоїнством відеодетектора є можливість паралельного відеоспостереження за зоною контролю.

Відеодетектор являє собою пристрій з IP-адресою і можливістю стиснення зображень за стандартом MPEG-4. Для перегляду і перевірки виявлення в мережі доступні два відеопотоки з підтримкою H264, які можна також переглядати на веб-сервері.



Рис. 2.11. Зовнішній вигляд блоку відеодетектора [24]

Високошвидкісне з'єднання по силових лініях (BPL) для живлення, передачі стану виходів, налаштування, контролю (потоків відео) в інтерфейсі.

Існує кілька типів виводу даних:

- за допомогою моментальних знімків JPEG;
- перегляд і запис потокового відео у форматах H.264 або MPEG-4 використовуючи відеопрогравач ПК;
- перегляд потокового відео у форматах H.264 або MPEG-4 на Веб-сторінці [24].

Основні характеристики:

- вхідне живлення відеодетектора - 220В змінного струму;
- живлення відеокамер - 24В постійного струму;
- максимально споживана потужність - 36,0 Вт;
- максимально споживаний струм-160 мА.
- стиснення відео: тип H.264, MPEG-4;
- частота кадрів до 25 кадрів в секунду;
- дозвіл VGA (640x480);
- якість до 4 Мбіт / с;

- число виходів виявлення: 32 сухих контакти з оптичною розв'язкою (для 8 відеокамер);

- $P_{\text{макс}} = 300$ мВт, $I_{\text{макс}} = 50$ мА, $U_{\text{макс}} = 48$ В постійного струму;

- замикання або розмикання по події.

- температура навколишнього повітря від -34°C до $+80^{\circ}\text{C}$;

- габаритні розміри пристрою - не більше $500 \times 500 \times 320$ мм [24].

Склад відеодетектора (ВД):

- відеодетектор складається з блоку ВД і силової панелі, на якій розміщені колодки для підключень відеодетекторів;

- блок відеодетектора ВД складається з джерела живлення ПП-ВД і субблока ВРL2. Дана комплектація блоку дозволяє підключати 4 відеодетектора TraftiCam x-stream 2 , що забезпечує контроль над 16 смугами руху;

- введення додаткового субблока ВРL2 розширює можливості підключення до 8 відеокамер, що в свою чергу забезпечує контроль 32 смуг руху.

2.6. Ультразвуковий датчик з приймачем

Ультразвуковий датчик HC-SR04, показаний на рис. 2.12 [25], використовує звукову навігаційну дальність для визначення відстані до перешкоди. Він не схильний до впливу сонячного світла або матеріалів чорного кольору (акустично).

У запропонованому рішенні HC-SR04 використовується для визначення відстані до найближчого до нього транспортного засобу. Датчик за замовчуванням обчислює час, необхідний для того, щоб згенерована ультразвукова хвиля повернулася назад до датчика. За допомогою доступного мікроконтролера Arduino.

Відстань зменшується вдвічі, тому що результуюча відстань буде сумою відстані туди і назад, пройденого хвилею.



Рис. 2.12. Ультразвуковий датчик [25]

Модуль приймача NRF24L01, показаний на рис. 2.13 [26], використовується для бездротового зв'язку між двома або більше платами Arduino.

Це використовується для бездротового зв'язку між двома платами Arduino тут. Потужність встановлена на низький рівень для демонстраційних цілей, але може бути встановлена на максимальний, щоб отримати кращий діапазон. У запропонованому рішенні він використовується для передачі і прийому структури, що містить значення смуг руху і відповідні їм часи очікування, які підсумовуються в цілому до 48 байт даних. Тому навіть швидкість 250 Кбіт/с буде працювати плавно, коли справа доходить до передачі інформації між двома платами. З наявних 125 каналів можна вибрати будь-який довільний. Код використовує канал 115.



Рис. 2.13. Модуль приймача NRF24L01 [26]

РОЗДІЛ 3

ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОСЕНСОРУ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Прогнози та перспективи розвитку інтелектуальних транспортних систем в Україні можна побудувати дивлячись на приріст кількості транспортних засобів та завантаженість дорожнього полотна. Тому системи автоматизованого керування дорожнім рухом на основі сенсорів присутності та сучасного програмного забезпечення є єдиним варіантом для забезпечення безпеки та комфорту руху.

Якщо розглянути статистику приросту транспортних засобів по місту Конотоп з часів, коли лише світлофорна система монтувалася і до цього часу, то кількість автомобілів по дорогах нашого міста зросла з чотирьох до двадцяти двох тисяч, що свідчить про те, що настав час зайнятися капітальною модернізацією діючої системи.

Транспортний сектор є одним з найбільш перспективних напрямків впровадження інтернету. Це пов'язано з можливостями автоматизації процесів управління рухом і необхідністю усунення суб'єктивних людських факторів.

Тим часом камери контролю дорожнього руху за кількістю підключень є найпопулярнішими системами, що перевершують транспортні детектори.

АСУДР призначені для централізованого або локального автоматизованого управління дорожнім рухом (автомобільними і пішохідними потоками). Така система являє собою набір периферійних пристроїв, інтегрованих в єдину мережу, з центральною диспетчерською (ЦД).

Периферійні пристрої в складі АСУДР (на прикладі кільцевої автомагістралі АСУДР) включають:

- дорожні контролери;
- детектори транспортних потоків;
- дорожні знаки та дисплеї інформації про дорожній рух;
- камери відеоспостереження (відеокамери);
- автоматизовані дорожні метеорологічні станції;

- ваги (автомобільні ваги);
- комплекси контролю швидкості;
- інші "підключені" пристрої.

У межах міста також є підключені світлофори.

Регулювання транспортних потоків (наприклад, визначення пріоритетів) засноване на історичних і поточних даних з датчиків і камер. Система може вибирати з ряду моделей регулювання, а також коригувати деякі існуючі параметри відповідно до поточних умов.

За словами авторів [18-21], проекти зі створення комплексу АСУДР будуть активно розвиватися в нашій країні, в першу чергу у зв'язку з необхідністю вирішення проблеми пробок і в рамках загальної стратегії підвищення безпеки дорожнього руху. Ще одним важливим фактором є можливість поповнення регіональних бюджетів за рахунок автоматизації процесів фіксації порушень і видачі штрафів.

Проаналізувавши ряд наукової та спеціальної літератури, технічну та довідкову інформацію наявних сенсорів присутності можна скласти перелік складових якісної автоматичної системи управління та моніторингу дорожнього руху.

Завданням дипломної роботи є доопрацювання апаратної частини світлофорного об'єкту на розі проспекту Миру та вулиці Лісового (рис.3.1) у місті Конотоп. А саме сформуванню керуючий сигнал світлофора в залежності від транспортної обстановки на регульованому Т-подібному перехресті. У тому випадку, коли транспортні засоби по вулиці Лісового відсутні, система має забезпечити пропуск автомобілів по проспекту Миру. Якщо ж транспортні потоки з'являються на вулиці Лісового, система має отримати сигнал про їх наявність і перейти в режим регулювання проїзду перехрестя.



Рис. 3.1. Перехрестя проспекту Миру та вулиці Лісового

Розроблювана система має працювати при великих коливаннях температур від мінус 30 до плюс 40, при високому рівні шумів, за будь-якої освітленості.

Проаналізувавши відомі варіанти сенсорів та додаткових пристроїв регулювання дорожнього руху, а також умов роботи розроблюваної системи, можна виключити:

- акустичні датчики. Які наводитимуть велику кількість помилок через надто високий рівень шуму на перехресті по причині наявності трамвайних та залізничних колій, завантаженості даного автошляху вантажними автомобілями та іншого;

- оптичні датчики. Оскільки постає проблема монтажу сенсорів і захисту їх від вандалізму та забруднення. Також їх недоліком є залежність від рівня освітлення, а у нашому випадку в нічний час перехрестя має низький рівень освітлення;

- індуктивні датчики. Практика Європейських країн встановлювати безпосередньо в дорожнє полотно спеціальних індуктивних датчиків для даного перехрестя також є неможливою з ряду причин, таких як: встановлення даного

датчика здійснюється безпосередньо в дорожнє полотно, а оскільки перехрестя між вулицею Лісового та проспектом Миру відноситься до Батуринської магістралі, то для вбудовування в дорожнє полотно потрібно ряд дозволів. Також проблематичне встановлення датчика, бо їх вбудовують в якісне бетонне покриття, при порушенні якості, або заміні матеріалу на менш міцний відбувається продавлювання дорожнього покриття, що призводить до розриву індуктивного сенсору.

Отже, виходячи з того, що втручатися в роботу системи, яка вже наявна на даному перехресті у нас немає можливості, нами пропонується використання радіочастотного сенсору FUERS TR-803 (рис. 3.2) з такими технічними характеристиками:

- робоча частота: 5.8 ГГц;
- тип датчика: радіодетектор;
- потужність передавача: <10 МВт;
- діапазон виявлення: 360°;
- дальність виявлення: 1-8 м (Регульована);
- регулювання світлочутливості: 3-2000 LUX (регульована);
- час-затримки: 10 сек ± 3 сек (хв), 12 хв ±1 хв (макс);
- висота установки: 1.5-3.5 м;
- швидкість виявлення руху: 0.6-1.5 м/с;
- споживана потужність: 0.9 Вт;
- джерело живлення: 220 В (змінний струм);
- номінальне навантаження: 1200 Вт (лампа розжарювання), 300 Вт (енергозберігаюча лампа);
- матеріал: пластик;
- розмір: 75 x 40 x 20 мм;
- колір: Білий [27].

Сенсор може бути встановлений безпосередньо на опорі, у положенні, яке контролює зупинку транспортних засобів на «СТОП-лінії». Це дозволяє рух транспорту по обох автомобільних полосах надійно детектувати і направити

відповідний сигнал через наявні лінії зв'язку світлофорного об'єкта, які підходять безпосередньо до опори.



Рис. 3.2. Радіосенсор руху FUERS TR-803 [27]

Сенсор працює у проміжок часу, коли для транспортних потоків на вулиці Лісового діє червоний забороняючий сигнал світлофора. У випадку наявності транспортного засобу радіохвиля, яка випромінюється сенсором повертається до самого сенсора і він формує сигнал, який свідчить, що автомобіль зупинився на стоп-лінії. Виходячи з дальності визначення, що складає близько 8 метрів, можливо використати сенсор без підсилювачів і інших засобів обробки сигналу, що дозволяє значно здешевити конструкцію.

Сенсор має бути встановлений в вологозахисній коробці, наприклад типу IP55 з розмірами 95x95x60мм.

Нами експериментально визначалася чутливість радіосенсора руху по відношенню до типів транспортних засобів які переїжджають перехрестя.

Всього було здійснено 75 вимірювань які дозволили встановити що діаграма направленості радіосенсора руху дозволяє безпомилково реєструвати наявність транспортного засобу у полосі контролю при встановленні самого сенсора на опорі пішохідного світлофора на висоті 4 метри.

Граничні залежності довжини контрольованої зони наведені на Рис 3.3

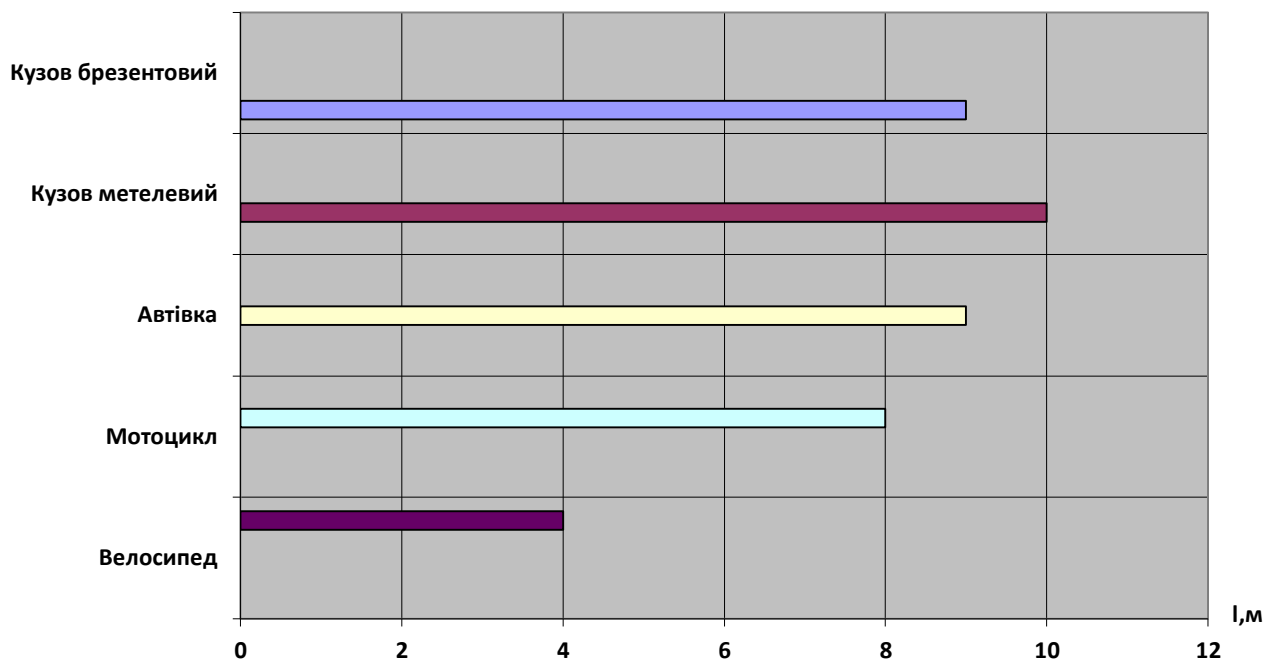


Рис 3.3 Експериментальна залежність чутливості радіосенсору FUERS+R-803

Найменш чутливим є контроль за велосипедистом який зупиняється на стоп-лінії. Однак наявність бокової розмітки на проїжджій частині та розташування опори світлофора дозволяють надійно детектувати його наявність у випадку дотримання ним правил дорожнього руху.

Застосування інших радіосенсорів можливе виключно після експериментального визначення надійності спрацювання їх у конкретних дорожніх умовах.

ВИСНОВКИ

Здійснивши аналіз технічної, довідникової та спеціалізованої літератури можна дійти висновку, що на даний час в світі використовується чотири основних типи датчиків, а саме ультразвукові, оптичні, індуктивні та радіолокаційні. На даний час активно почали поширюватися системи побудовані з використанням комбінованих датчиків, що складаються певним чином на основі попередніх чотирьох.

Оскільки завданням дипломної роботи було доопрацювання апаратної частини світлофорного об'єкту на розі проспекту Миру та вулиці Лісового у місті Конотоп. А саме сформувати керуючий сигнал світлофора в залежності від транспортної обстановки на регульованому Т-подібному перехресті, з мінімальними економічними затратами та втручанням в роботу уже існуючої системи.

Переглянувши умови роботи системи та проаналізувавши специфіку роботи різних типів сенсорів присутності, було зроблено висновки, що доцільно використання радіочастотного сенсору.

Нами пропонується використання радіочастотного сенсору FUERS TR-803, оскільки він повністю задовольняє всі вище розглянуті умови.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.britannica.com/technology/traffic-control#accordion-article-history> - Encyclopædia Britannica, дата доступу: 12.04.2021 р.
2. Review of road traffic control strategies / M. Papageorgiou, C. Kiakaki, V. Dinopoulou et oll.// Proceedings of the IEEE. - 2003. - V. 91. - P. 2043-2067.
3. IoT based dynamic road traffic management for smart cities / S. Misbahuddin, J.A. Zubairi, A. Saggaf et oll.// Emerging Technologies, HONET-ICT. – 2015. – V.33. – P.722-724.
4. Autonomous Traffic Light Control System for Smart Cities / S. Suresh Kumar, M. Rajesh Babu, R. Vineeth et oll.// MDPI AG . – 2019. - P. 325-335.

5. A survey on IoT based traffic control and prediction mechanism / S. Banerjee, C. Chakraborty and S. Chatterjee // Intelligent Systems Reference Library. – 2019. - V.154. – P.53-75.
6. A survey on urban traffic management system using wireless sensor networks / K. Nellore and G. P. Hancke // MDPI AG. – 2016. - V.16. - P.25-29.
7. A Review on Traffic Monitoring System Techniques / N. K. Jain, R. K. Saini and P. Mittal // Soft Computing: Theories and Applications, Springer. – 2019. - P.569-577.
8. Traffic Signal Automation Through IoT by Sensing and Detecting Traffic Intensity Through IR Sensors / S. Parekh, N. Dhimi, S. Patel et oll.// in Information and Communication Technology for Intelligent Systems, Springer. – 2019. - P.53-65.
9. <https://www.bbc.com/news/world-asia-india-36496375> - BBC News, дата доступа: 07.04.2021 г.
10. Implementing intelligent traffic control system for congestion control, ambulance clearance, and stolen vehicle detection / R. Sundar, S. Hebbar and V. Golla // IEEE Sensors Journal. – 2015. - V.15. - N.2. - P.1109-1113.
11. Mobile agent-based improved traffic control system in VANET / M. Rath, B. Pati and B. K. Pattanayak // in Studies in Computational Intelligence, Springer Verlag. – 2019. - V.771. - P.261-269.
12. Internet of Vehicles (IoV) for traffic management / T.T. Dandala, V. Krishnamurthy and R. Alwan // in 2017 International Conference on Computer, Communication and Signal Processing (ICCCSP). - 2017. – P.320-324.
13. Ant colony optimization algorithm with Internet of Vehicles for intelligent traffic control system / P. M. Kumar, U. Devi G, G. Manogaran et oll. // Computer Networks. - 2018. - V.144. - P.154-162.
14. Intelligent traffic light control / M. A. Wiering, J. v. Veenen, J. Vreeken et oll.// Utrecht University: Information and Computing Sciences, 2004. – P.42-44.
15. Reinforcement learning: A survey / L. P. Kaelbling, M. L. Littman and A.W. Moore // Journal of artificial intelligence research. - 1996. - V.4. - P.237-285.

16. A Deep Reinforcement Learning Network for Traffic Light Cycle Control / X. Liang, X. Du, G. Wang et oll.// IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2019. - V.68. -N.2. - P.1243-1253.
17. Computer Vision-guided Intelligent Traffic Signaling for Isolated Intersections / S. K. Kumaran, S. Mohapatra, D. P. Dogra et oll.// Expert Systems with Applications, 2019. – P.45-47.
18. Temporal unknown incremental clustering model for analysis of traffic surveillance videos / K. K. Santhosh, D. P. Dogra and P. P. Roy // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2018. - N.99. - P.1-12.
19. <https://www.elprocus.com/dynamic-road-traffic-signal-control/> - Dynamic Road Traffic Signal Control System, дата доступа: 10.04.2021 г.
20. <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-disadvantages-of-Inductive-Sensor.html> - Advantages of Inductive sensor | Disadvantages of Inductive sensor, дата доступа: 10.04.2021 г.
21. http://www.aglobal.ru/rdt_k4.html - Радиолокационные детекторы транспорта(РДТ), дата доступа: 25.04.2021 г.
22. <https://www.flir.eu/traffic/urban/> - Safer Journeys, Smoother Flows, дата доступа: 25.04.2021 г.
23. <http://indorsys.ru/products/radarsensor/240/> - Радиолокационные детекторы транспорта ASIM TT 298, дата доступа: 26.04.2021 г.
24. <http://avtomatika-d.com/Equip/video.htm> - Видеодетекторы транспорта ВД, дата доступа: 30.04.2021 г.
25. https://www.tutorialspoint.com/arduino/arduino_ultrasonic_sensor.htm. - Tutorialspoint (2019) Arduino - Ultrasonic Sensor, дата доступа: 30.04.2021 г.
26. <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-wireless-communication-nrf24l01-tutorial/> - How to Mechatronics (2019) Arduino Wireless Communication – NRF24L01 Tutorial, дата доступа: 30.04.2021 г.
27. <https://prom.ua/p1417450742-radar-radiodatchik-dvizheniya.html?> - Радар радиодатчик движения 5.8 ГГц FUERS TR-803, простое подключение и управление, детекция до 8 метров, дата доступа: 31.05.2021 г.