

Владика Роман Володимирович

Пирха Валерій Володимирович

Розробка та дослідження автономної інтелектуальної системи моніторингу
дорожнього руху з використанням ГЧ-радару та камери

Керівник: доц. Митник М.М.

Development and study of an autonomous intelligent system of IR-radar and
camera-based traffic monitoring

Завдання на кваліфікаційну роботу

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини кваліфікаційної роботи становить ___ слайдів.

Об'єм пояснювальної записки складає ___ друкованих сторінок формату А4 (210×297), об'єм додатків – ___ друкованих сторінок формату А4.

Кваліфікаційна робота складається з шести розділів, в яких нараховується ___ рисунків та ___ таблиць з даними.

В роботі використано ___ літературних джерел.

Метою кваліфікаційної роботи є проаналізувати методи моніторингу дорожнього руху, їх переваги та недоліки. Обрати оптимальні методи моніторингу дорожнього руху, які зможуть забезпечити стабільні та надійні дані про дорожній рух, включаючи підрахунок транспортних засобів, індивідуальну швидкість руху і клас транспортного засобу.

Дослідити результати експерименту моніторингу дорожнього руху. На їх основі розрахувати перехід між режимами живлення.

Розробити систему динамічного управління живленням.

Запропонувати прототип автономної системи моніторингу дорожнього руху. Обрати апаратні комплектуючі.

Ключові слова: ДАВАЧ, КЕРУВАННЯ, ЖИВЛЕННЯ, ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, ЛІДАР, МОНІТОРИНГ РУХУ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Засоби моніторингу дорожнього руху	7
1.2 Динамічне управління живленням	10
1.3 Роль інфраструктури транспортної системи при моніторингу дорожнього руху	11
1.4 Вплив зовнішніх факторів на моніторинг дорожнього руху	13
1.5 Процедури вимірювання кількості, швидкості та габаритів транспортних засобів	14
1.6 Застосування Фільтра Калмана при моніторингу дорожнього руху	15
1.6.1 Сігма-точковий фільтр Калмана	18
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	22
2.1 Багато точкове вимірювання короткої ділянки за допомогою ІЧ-лідара та камери для моніторингу дорожнього руху	22
2.1.1 Вимірювання короткої ділянки дороги за допомогою лідара	22
2.1.2 Вимірювання короткої ділянки дороги за допомогою камери	22
2.1.3 Вимірювання короткої ділянки дороги за допомогою ІЧ-лідара та камери	24
2.2 Визначення розташування, швидкості та габаритів транспортного засобу за допомогою фільтра Калмана	25
2.3 Загальний процес моніторингу дорожнього руху	27
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	29
3.1 Динамічне управління живленням на основі потоку руху	29
3.2 Система динамічного управління живленням	30
3.2.1 Адаптивний превентивний ДУЖ	30
3.2.2 Диспетчер стану живлення: перехід між режимами живлення	31
3.2.3 Диспетчер стану живлення	33
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	38
4.1 Налаштування експерименту	38
4.2 Результати моніторингу траси	38
4.2.1 Результати підрахунку і аналіз транспортних засобів	38
4.2.2 Результат і аналіз оцінки швидкості транспортного засобу	42
4.3 Вплив динамічного управління живленням	43
4.3.1 Збільшення енергоефективності	43
4.3.2 Перехід між режимами живлення	45
4.3.3 Зміна режиму живлення при великих групах транспортних засобів	46

	5
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	50
5.1 Підбір апаратного забезпечення	50
5.2 Встановлення та калібрування	54
5.3 Режими системи живлення	56
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	59
6.1 Значення охорони праці для забезпечення безпечних умов праці	59
6.2 Системи засобів і заходів щодо електробезпеки	61
ВИСНОВКИ	65
БІБЛІОГРАФІЯ	66

ВСТУП

Інтелектуальна транспортна система (ІТС) протягом кількох десятиліть привертає все більшу увагу як в промисловості, так і в наукових колах. Підвищуючи безпеку і мобільність транспорту, адаптивне управління дорожньою інфраструктурою, а також планування руху. ІТС забезпечує ефективні рішення швидко зростаючих транспортних проблем. ІТС при моніторингу дорожнього руху відіграє важливу роль, постійно надаючи дані про трафік в режимі реального часу. Ефективність роботи засобів моніторингу дорожнього руху докорінно впливає на загальну продуктивність ІТС.

На даний час є кілька засобів моніторингу трафіку, більшість з них мають суттєві недоліки. Більшість засобів моніторингу покладаються лише на один тип датчиків, що призводить до не надійності зібраних даних. Оскільки датчики повинні працювати в неконтрольованому середовищі, більшість цих процесів нестабільні. Ще одна серйозна проблема полягає у встановленні обладнання і забезпечення електропостачання. Тому для вирішення цих питань необхідно запропонувати прототип автономної системи моніторингу дорожнього руху.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Засоби моніторингу дорожнього руху

Засоби моніторингу дорожнього руху, які широко використовуються, в основному являють собою стаціонарні давачі, які встановлюються постійно, або тимчасово. Вони вимірюють локальні дані про дорожній рух і відображають загальний стан дорожнього руху у транспортній системі. Давачі, в залежності від того, як вони взаємодіють з проїжджаючими автомобілями, поділяють на дві групи: контактні і безконтактні. Розглянемо основні з них.

Пневматичний трубчастий давач

Пневматичний трубчастий давач (ПТД) є одним з перших рішень для моніторингу дорожнього руху. ПТД складається з трубки та управляючого комп'ютера. Трубка виготовляється з високоякісної гуми, яка витримує навантаження проїжджаючих транспортних засобів. [5] Принцип роботи даного давача полягає в тому, що в трубці, яка лежить на дорозі, знаходиться повітря під тиском. Коли вісь транспортного засобу проїжджає через трубку в ній утворюється імпульс тиску повітря спрямованого на перемикач. Цей перемикач передає сигнал до управляючого комп'ютера для аналізу. Використовуючи ПТД, можна виміряти швидкість і довжину транспортного засобу.

Переваги пневматичної трубки як одного з найбільш широко використовуваних засобів моніторингу дорожнього руху полягають в її недорогій установці, портативності і надійності в різних умовах.

Проте ПТД має ряд недоліків, якими не можна нехтувати: зокрема не точний підрахунок осей транспортних засобів з великими розмірами або з більш ніж двома парами осей, наприклад автобуси і вантажівки. Оскільки

давачі фізично контактують з проїжджаючими транспортними засобами, вони можуть бути пошкоджені внаслідок тертя з шинами.

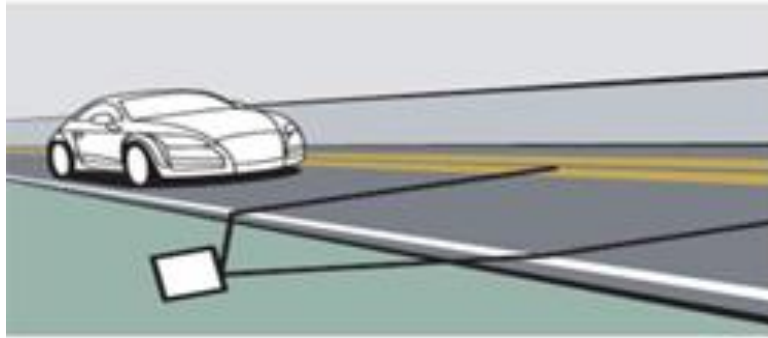


Рисунок 1.1 – Давач з пневматичної трубною

Індукційний контурний давач

Індукційний контурний давач (ІКД) на даний час є одним з найбільш поширених давачів для моніторингу дорожнього руху. [7] Основні компоненти ІКД: контурний дріт вмонтований в дорожнє покриття, силовий кабель, електронний блок, управляючий комп'ютер.. Кілька наборів контурних проводів на короткій ділянці дороги дозволяють системі вимірювати швидкість і довжину транспортного засобу. Контур діє як індуктивний елемент і реагує на сигнали певної частоти. Коли транспортний засіб проїжджає зону виявлення, індуктивність контура, знижується, що змушує електронний блок відправляти в управляючий комп'ютер сигнал, який вказує на проїзд транспортного засобу .

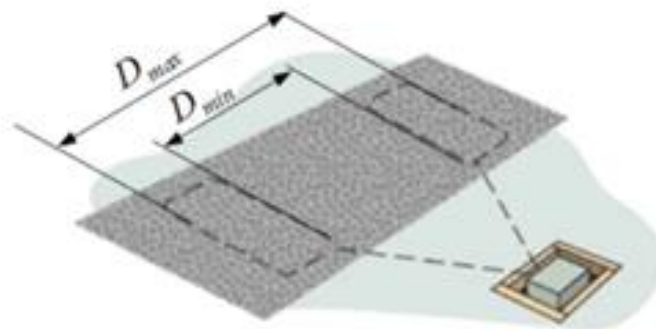


Рисунок 1.2 – Індуктивно петлевий давач

Перевага ІКД в моніторингу дорожнього руху:

- 1) ІКД дають надійні дані про стан дорожнього руху;;
- 2) Вартість обладнання невисока.

З іншого боку, недоліки цього методу полягають в наступному:

- 1) Установка і обслуговування порушують дорожній рух;
- 2) Важко переміщати обладнання на інші ділянки дороги;
- 3) Проведення дорожніх робіт може призвести до пошкодження компонентів ІКД;
- 4) Контурний провід, прокладений на проїжджій частині, піддається прямому тиску транспортних засобів, що може спричинити пошкодження давача.

Мікрохвильовий радар

Мікрохвильові радары це системи для виявлення наземних, морських, та повітряних об'єктів. При відстеженні дорожнього руху, встановлені радіолокаційні радары випромінюють радіохвилі на певну зону визначення. Коли транспортний засіб проїжджає зону визначення він віддзеркалює радіохвилі, які в свою чергу реєструються в радарі, що розглядається як подія виявлення, і дані транспортного засобу, включаючи швидкість і довжину, можуть бути обчислені.[13]Мікрохвильовий радар виявляє, відстежує і обчислює швидкість транспортних засобів та генерує попередження, коли транспортні засоби перевищують встановлену межу швидкості руху.

Така система може успішно використовуватися для визначення параметрів руху, таких як середня швидкість руху автомобілів і пропускна здатність певної ділянки дороги.

Переваги мікрохвильового радара полягають в наступному: радар нечутливий до несприятливих погодних умов для спостереження. І в порівнянні з давачами, такими як ІКД, та ПТД радары не можуть отримати пошкодження від прямого контакту з транспортними засобами, оскільки вони розташовані на відстані. Радары можуть використовуватися в якості

довгострокового рішення для моніторингу дорожнього руху. Але недоліки цього засобу полягають в тому, що мікрохвильові радары не можуть використовуватись для виявлення нерухомих транспортних засобів припаркованих на узбіччі, або очікуючих на сигнал світлофора.

Лідар

Лідар це технологія дистанційного зондування, яка використовує лазерний імпульс для збору та обчислення даних. Ці дані використовуються для створення моделей об'єктів. Принцип роботи лідару аналогічний радару, але замість радіохвиль лідар використовує лазерні промені. Лідар розраховує скільки часу потрібно лазерному променю для попадання на об'єкт та відбиття його назад на сканер лідару.

Перевагою лідару перед іншими засобами моніторингу руху є висока швидкість та точність збору даних. Може використовуватись вночі без додаткового освітлення.

Недоліками є висока вартість обладнання у порівнянні з вищезгаданими засобами. Також лідар погано працює в несприятливих погодних умовах (дощ, сніг, туман).

1.2 Динамічне управління живленням

Стратегія динамічного управління живленням (ДУЖ) для моніторингу дорожнього руху, полягає у тому, щоб переводити систему у відносно неактивний режим, коли в активному режимі немає необхідності. Це необхідно для зниження енерговитрат та створення автономної системи, з використанням сонячної панелі і акумулятора без підключення до силового кабелю.

Режими динамічного управління живленням

ДУЖ привертає все більшу увагу в останні кілька років. Робота ДУЖ може здійснюватись у таких режимах: енергозбереження, тайм-аут, прогнозуючий

Режим енергозбереження ДУЖ – надає послуги тільки тоді, коли давач відправляє запит на управляючий комп'ютер. Цей метод легко реалізувати, і в багатьох випадках він забезпечує кращу енергоефективність. Однак для управляючого комп'ютера, потрібно багато часу на активацію, та підготовку до опрацювання запиту, який надійшов від давача. Цей режим може значно знизити надійність системи, та швидкість її роботи.

Тайм-аут ДУЖ режим, при якому управляючий комп'ютер вимикається після того, як він простоював протягом певного порогового періоду часу. Режим тайм-ауту ДУЖ можна розділити на статичну і адаптивну. Адаптивний тайм-аут скоректує поріг тайм-ауту на основі періоду простою. Цей метод у порівнянні з режимом енергозбереження є більш надійним, та зменшує енергоспоживання.

Прогнозуюче ДУЖ - режим прогнозує тривалість наступаючих періодів простою і вимикає пристрій, коли прогнозований період простою перевищує певний пороговий період часу. Обмеження цього методу полягає в його залежності від оптимальної моделі прогнозування.

1.3 Роль інфраструктури транспортної системи при моніторингу дорожнього руху

[10] Доступність і властивості існуючої транспортної інфраструктури (дороги, естакади, стовпи, дорожні сигнали, будівлі) впливає на те, яке конструкторське рішення буде прийняте для моніторингу дорожнього трафіку в цій місцевості.

- 1) Дороги – найважливіша структура транспортної системи. При моніторингу дорожнього руху необхідно враховувати параметри дороги, а саме номер смуги руху, ширину смуги, обмеження швидкості. Ці параметри впливають на те який тип датчиків будуть використовуватися на конкретній ділянці дороги.
- 2) Світлофори та дорожні знаки мають великий вплив на дорожній рух. Схема руху, яка утворюється в результаті дії дорожніх знаків, та сигналів світлофора, впливає на тип датчиків які будуть застосовані, їх налаштування та конфігурації.
- 3) Ліхтарні стовпи забезпечують освітлення дороги вночі, що дуже важливо для оптичних датчиків, таких як відеокамери. Якщо ліхтарний стовп не забезпечує хороше освітлення, то оптичні датчики в нічний час можуть давати хибні дані. Інше призначення ліхтарного стовпа, або інших опорних конструкцій – це монтаж на них системи моніторингу дорожнього руху. Рисунок 1.3 показує приклад камери спостереження за дорожнім рухом, встановленої на ліхтарному стовпі.



Рисунок 1.3 – Датчик контролю дорожнього руху, встановлений на ліхтарному стовпі.

1.4 Вплив зовнішніх факторів на моніторинг дорожнього руху



Рисунок 1.4 – Вплив зовнішніх факторів на моніторинг дорожнього руху

Оскільки на рух транспортних засобів впливають різні зовнішні фактори, ці фактори також мають великий вплив на роботу датчиків для моніторингу дорожнього руху.

Характеристики більшості датчиків залежать від погодних умов в яких вони експлуатуються. Оскільки датчики покладаються на оптичні вимірювання або інші безконтактні вимірювання - дощ, сніг або туман створюють перешкоди в зображенні і можуть створювати проблеми при виявленні транспортного засобу.

Стан освітлення - ще один важливий фактор, який впливає на виявлення транспортного засобу певної категорії датчиків. Оптичні датчики залежать від освітлення, будь-які нестабільні умови, такі як тінь можуть поставити під загрозу виявлення транспортного засобу. У нічний час, особливо при відсутності ліхтарного освітлення, точність оптичних датчиків значно знижується.

1.5 Процедури вимірювання кількості, швидкості та габаритів транспортних засобів

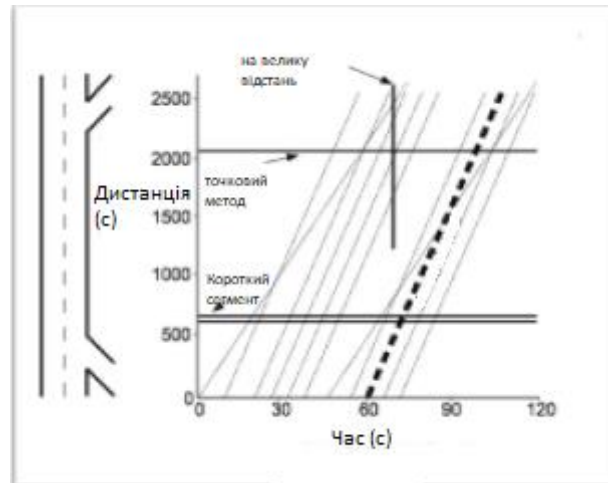


Рисунок 1.5 – Здійснення процедури вимірювання

На рисунку 1.5, вертикальна вісь являє собою відстань від довільної початкової точки вздовж дороги в напрямку руху, а горизонтальна вісь – показує різницю в часі. Діаграма описує просторово-часову залежність трьох методів вимірювання:

1. Вимірювання в точці. На схемі показано однією горизонтальною лінією, при якій місце виміру залишається незмінним під час моніторингу дорожнього руху. Ця процедура найчастіше використовується при підрахунку кількості транспортних засобів. Також можна визначити швидкість і довжину транспортного засобу за допомогою радара.
2. Вимірювання на короткій ділянці (не менше 10м.). Цей метод представлений на схемі двома паралельними горизонтальними лініями, розташованими на невеликій відстані один від одного. На практиці для вимірювання швидкості і довжини транспортних засобів використовується пара або більше датчиків.
3. Вимірювання на всій довжині дороги (не менше 0,5 км). Позначений на діаграмі вертикальною лінією, контрольний датчик має постійну

контрольовану область стеження за дорожнім трафіком. Давачі (камери), монтують на верхніх поверхах високих будівель, на естакадах, або інших високих конструкціях, для отримання макроскопічної інформації про рух транспортних засобів.

Всі описані вище процедури можуть бути реалізовані з різними типами давачів.

1.6 Застосування Фільтра Калмана при моніторингу дорожнього руху

Поточна позиція транспортного засобу на основі якої можна передбачити майбутню модель руху вираховується за допомогою фільтра Калмана (ФК). Алгоритм роботи ФК формується з двох етапів які повторюються, це - корекція і екстраполяція. Для виявленого транспортного засобу використовують ФК, щоб спрогнозувати його модель руху. ФК складається з функцій, які формуються з формул для знаходження міри спільної невизначеності та середнього значення положення транспортного засобу.

Середнє значення (x) — транспортного засобу з його вектора положення, яке формується з координат центру області фокусу (c_x, c_y) та швидкостей (v_x, v_y) :

$$x = [c_x, c_y, v_x, v_y] \quad (1.1)$$

Коваріація (P) — необхідна для оцінки стану транспортного та невизначеності. Для функціонування ФК необхідний пройти два етапи оновлення і прогнозування. Передбачення подальшої позиції, оновлення їх виправить та покращить спосіб, за допомогою якого передбачується, змінивши при цьому невизначеність. Алгоритм роботи ФК показано на рисунку.



Рисунок 1.6 - Алгоритм роботи ФК

Коли відбувається прогнозування значення змінних на основі оцінки попереднього плану, та її невизначеності. Априорна оцінка виконується до виконання виявлення та покладається на математичну модель. Прогнозуюче матричне множення, яке вираховує розташування обмежувального поля в момент часу t , маємо розташування в момент часу $t-1$. У ФК існує функція прогнозування, що реалізує математичні обчислення:

$$x' = Fx + u \quad (1.2)$$

$$P' = FPF^T + Q \quad (1.3)$$

F - матриця переходу даної системи в момент часу $t - 1$ в t . Зміст матриці важливий, при множенні x на F яке продемонстровано формулою (1.4), x буде змінюватися і і на виході отримаємо x' .

$$\begin{pmatrix} cx \\ cy \\ vx \\ vy \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & dt & 0 \\ 0 & 1 & 0 & dt \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} cx \\ cy \\ vx \\ vy \end{pmatrix} \quad (1.4)$$

Матриця F [4x4]: dt – це різниця між попередньою точкою кадру і теперішнім кадром. Отримуємо $cx' = cx + dt * vx$ - для першого рядка матриці, $cy' = cy + dt * vy$ - для другого рядка матриці. Q — матриця для визначення шуму. Матрицю необхідно додати до коваріації, та згодом обчислити невизначеність.

Маючи дані визначення та опираючись на матриці можна спрогнозувати x' та P' . Це використовується для побудови моделі руху транспортного засобу.

Оновлення - етап корекції, який містить в собі математичні підрахунки (1.5 — 1.9). Вони враховують нове визначення Z та покращувати ФК.

$$y = z - Hx' \quad (1.5)$$

$$S = HP'H^T + R \quad (1.6)$$

$$K = P'H^T S^{-1} \quad (1.7)$$

$$x = x' + Ky \quad (1.8)$$

$$P = (I - KH)P' \quad (1.9)$$

Оновлення виконується з визначення помилки вимірювання Z - оцінка в моменті часу t . Розрахування швидкості поки не вносимо, адже вони не оцінюються, обчислюють значення:

$$z = [cx, cy] \quad (1.10)$$

H - матриця яка відкидає зайву інформацію від змінної стану транспортного засобу. H виконує ті ж функції, як і F в наступному етапі:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.11)$$

R - шум від датчика. Обчислюємо шум алгоритму у розрахунку на пікселі. Припускаємо, що помилка в обчисленні дорівнює двом пікселям:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.12)$$

В кінці обчислень маємо цикл оновлення і прогнозування. ФК використовують для обчислення в момент часу $t + 1$ (передбачування без оновлення) від часу t .

1.6.1 Сігма-точковий фільтр Калмана

ФК працює в парі з розподілом Гауса та лінійними функціями. СТФК - сігма-точковий фільтр Калмана здатний розв'язувати ті ж завдання що і ФК, а саме призначений для нелінійного застосування. СТФК забезпечує високу точність оцінки. СТФК працювати, тоді як ФК може вийти з ладу, і отримати хибні результати оцінки змінних. СТФК втілює лінеаризацію нелінійної динамічної системи. Головна причина з якої СТФК може виявитися неефективним, це мала похибка задана для параметрів математичної моделі яка призведе до неточності результатів обчислень. Алгоритм може втратити стійкість до похибок.

СТФК використовує підхід вибору мінімального набору сігма-точок для даних математичного очікування і шуканого вектору коваріляції з накладеними на нього шумами. Будування нелінійних функцій прогнозу за сігма-точками, в подальшому застосовують для опідрахунку матриці в центрі алгоритму ФК.

Кількість сігматочок залежить від розмірності системи. Загальна формула - $2n + 1$, де n позначає розмірність. Розрахунок сігма-точки:

$$\chi^{[0]} = \mu \quad (1.13)$$

$$\chi^{[i]} = \mu + \left(\sqrt{(n + \lambda)\Sigma} \right)_i \text{ for } i = 1, \dots, n \quad (1.14)$$

$$\zeta^{[i]} = \mu - \left(\sqrt{(n + \lambda)\Sigma} \right)_{i-n} \text{ for } i = n + 1, \dots, 2n \quad (1.15)$$

де, X — матриця, в якій стовбець показує набір сігма-точок, μ - середнє значення по Гауссу, n - розмір системи, λ – показує як далеко від середнього

значення вибрана сігма-точка . З математичного дослідження запропоновано $\lambda = 3 - n$. Вище наведені рівняння показують середнє значення однієї з сігма точок. Розмір матриці X буде 2×5 – якщо працювати дво-вимірному просторі. Розрахування ваги для сігма-точок:

$$w^{[0]} = \frac{\lambda}{n + \lambda} \quad (1.16)$$

$$w^{[i]} = \frac{\lambda}{2(n + \lambda)} \text{ for } i = 1, \dots, n2 \quad (1.17)$$

Необхідною умовою, щоб сума всіх ваг була рівною одиниці. Розрахунок середнього значення і коваріації:

$$\mu' = \sum_{i=0}^{2n} w^{[i]} g(\chi^{[i]}) \quad (1.18)$$

$$\Sigma' = \sum_{i=0}^{2n} w^{[i]} (g(\chi^{[i]}) - \mu') (g(\chi^{[i]}) - \mu')^T \quad (1.19)$$

де, μ' - передбачуване середнє значення, g - нелінійна функція, Σ' - передбачуване значення коваріації. СТФК працює за тією ж схемою до що і ФК та складається з двох етапів: передбачування і корекції. Етап передбачування базується на підрахунку сігма-точок використовуючи рівняння (1.13 — 1.15). 2. Підрахунок ваги для сігма-точок можна отримати з допомогою рівняння (1.16) та (1.17). Оцінювання математичного очікування, претворення сігма-точок і коваріації. Необхідно враховувати шум процесу, тоді як математичне очікування є сталим, коваріація розраховується за допомогою формули:

$$\Sigma' = \sum_{i=0}^{2n} w^{[i]} (g(\chi^{[i]}) - \mu') (g(\chi^{[i]}) - \mu')^T + R_t \quad (1.20)$$

ФК роблять оновлення зоні визначення. Необхідно перетворити сігма-точки попередньої оцінки в обчислення використовуючи функцію $h(x)$:

$$Z = h(\chi) \quad (1.21)$$

Вираховуємо коваріантність та середнє значення точок. Коваріація та середнє значення сігма точок в зоні виявлення підраховується наступними формулами:

$$\hat{z} = \sum_{i=0}^{2n} w^{[i]} Z^{[i]} \quad (1.22)$$

$$S = \sum_{i=0}^{2n} w^{[i]} (Z^{[i]} - \hat{z})(Z^{[i]} - \hat{z})^T + Q \quad (1.23)$$

де, z — середнє значення у зоні визначення, S — коваріація сігма-точок в зоні визначення. Потім проводиться розрахунок різниці між вимірюванням і передбаченням:

$$y = z - \hat{z} \quad (1.24)$$

Розрахунок матриці крос-коваріації між точками зони визначення і розташування транспортного засобу:

$$T = \sum_{i=0}^{2n} w^{[i]} (\chi^{[i]} - \mu')(Z^{[i]} - \hat{z})^T \quad (1.25)$$

Слідом визначається коефіцієнт посилення Калмана (КПК) за формулою:

$$K = T.S^{-1} \quad (1.26)$$

КПК розраховується за наступною формулою:

$$K \approx \frac{T}{S} \quad (1.27)$$

В отриманих даних СТФК підраховуємо без лінеаризації функції. Отримані значення підставляємо в етапи корекції, можемо отримати визначення фазового вектору.

$$\mu = \mu' + K(z - \hat{z}) \quad (1.28)$$

$$\Sigma = (I - KT)\Sigma' \quad (1.29)$$

У подальшому етап передбачування і етап корекції повторюються за поданою вище моделлю.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Багато точкове вимірювання короткої ділянки за допомогою ІЧ-лідара та камери для моніторингу дорожнього руху

2.1.1 Вимірювання короткої ділянки дороги за допомогою лідара

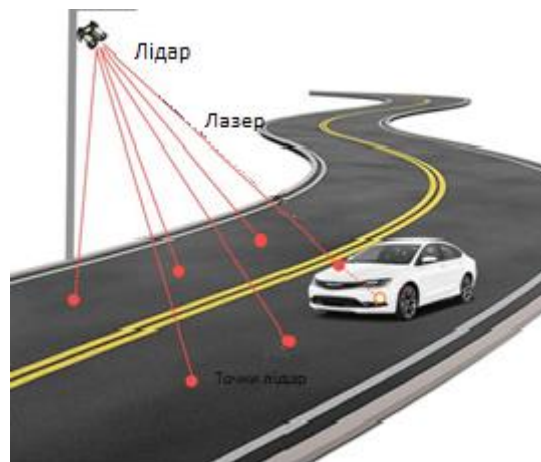


Рисунок 2.1– вимірювання дорожнього руху за допомогою лідара .

Лідар вимірює відстань між давачем і точкою проектування на дорозі або іншими перешкодами і надає точкову інформацію про площину дороги рисунок 2.1 . Як показано на рисунку, зменшення відстані точки лазера до давача лідара вказує на можливий рух транспортного засобу в секторі виявлення на дорозі.

2.1.2 Вимірювання короткої ділянки дороги за допомогою за допомогою камери

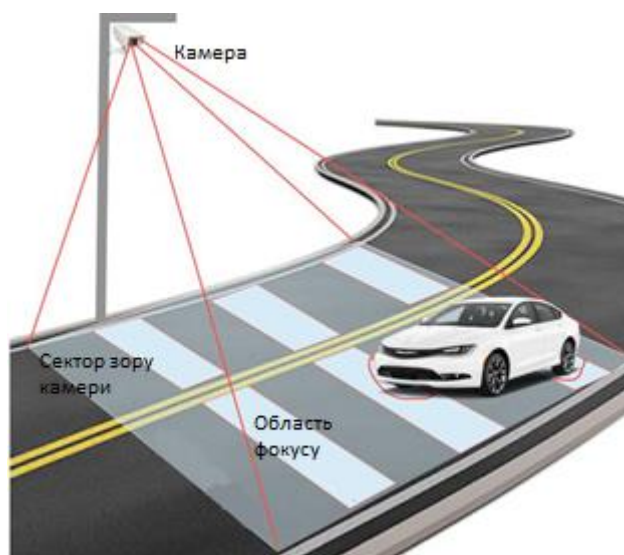


Рисунок 2.2 – Вимірювання за допомогою камери дорожнього руху.

Моніторинг дорожнього руху на базі камери відеоспостереження дозволяє виявити транспортний засіб на заданій короткій ділянці дороги . Для мінімізації складності обчислень при збереженні надійності даних використовують алгоритм віднімання фону. Як показано на рисунку 2.2, один давач камери може контролювати кілька смуг руху. Камера збирає оптичну інформацію з виділеної ділянки на піксельній основі, і передає інформацію в двовимірній площині до управляючого комп'ютера. На рисунку 2.2 зображені області фокусу (ОФ) які використовуються для реалізації алгоритму віднімання фону.

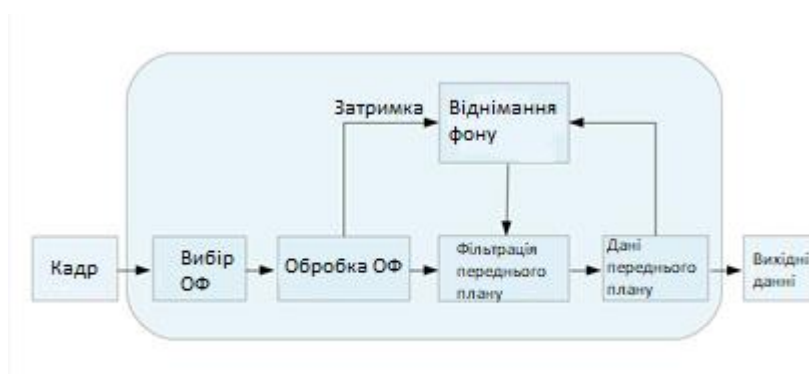


Рисунок 2.3 – Робота алгоритму віднімання фону.

Рисунок 2.3 показує робочий процес алгоритму віднімання фону для відстеження руху транспортного засобу. Алгоритм віднімання фону – служить для класифікації пікселів зображення на два класи пікселів: переднього плану і заднього (фон). Спочатку проводиться попередня обробка зображень для видалення шуму . Кожен вхідний кадр буде оброблений з використанням фільтра Гауса. Далі відбувається віднімання поточного зображення від опорного фонового, Фонове зображення , яке створюється протягом певного часу за рахунок усереднення зображень з попередніх кадрів. Пікселі, де різниця перевищує певний заданий поріг, класифікуються як передній план.

2.1.3 Вимірювання короткої ділянки дороги за допомогою ІЧ-лідара та камери

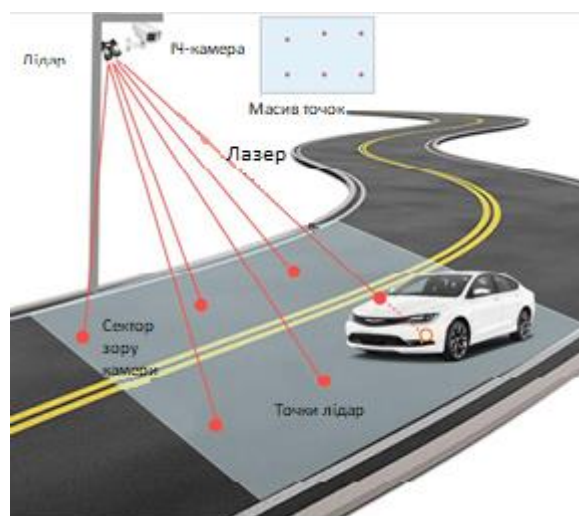


Рисунок 2.4 – Вимірювання за допомогою проєктуючих лазерних точок.

Як показано на рисунку, цей метод використовує лідар в якості лазерного передавача та ІЧ-камеру в якості приймача. [13] Лідар проєктує масив лазерних точок ділянку дороги, положення кожної точки в кадрах

відеокамери постійно перевіряється керуючим комп'ютером. Коли об'єкт потрапляє в область фокусу, лазерні точки проектуватись ньому. Їх відстань яка виставлена за замовчуванням до давача буде змінюватися. Завдяки цьому вимірюється розмір транспортного засобу, його розташування та швидкість.

2.2 Визначення розташування, швидкості та габаритів транспортного засобу за допомогою фільтра Калмана

Визначення транспортного засобу розглядається в 2D зображенні і виглядає як об'єднання руху по осі x і y , оброблення цих елементів можливо окремо. Припустимо знайдено M об'єктів, то необхідно дати оцінку M компоненти на осі Y і M компоненти на осі x). Вектори вимірювання Y :

$$Y = [x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_M, y_M]^T \quad (2.1)$$

де, $\{(x_i, y_i) \mid i = 1, \dots, M\}$ надає інформацію про розміщення транспортного засобу на осі x та y . Для побудови динамічної моделі руху транспортного засобу необхідно враховувати його швидкість та прискорення. Зміна розташування транспортного засобу X підраховується наступним чином:

$$X = [x_1, v_{x1}, a_{x1}, y_1, v_{y1}, a_{y1}, \dots, x_M, v_{xM}, y_M, v_{yM}]^T \quad (2.2)$$

де, $\{(v_{xi}, v_{yi}) \mid i = 1, \dots, M\}$ і $\{(a_{xi}, a_{yi}) \mid i = 1, \dots, M\}$ показують прискорення і швидкість транспортного засобу. Завдяки функції нелінійної системи визначаємо модель руху транспортного засобу:

$$x_i(n) = x_i(n-1) + v_{xi}(n-1)dt + \frac{1}{2}a_{xi}(n-1)dt^2 \quad (2.3)$$

$$y_i(n) = y_i(n-1) + v_{yi}(n-1)dt + \frac{1}{2}a_{yi}(n-1)dt^2 \quad (2.4)$$

Показана матриця переходу:

$$F_i = \begin{pmatrix} 1 & dt & dt^2/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & dt & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & dt & dt^2/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & dt \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} (i = 1, \dots, M) \quad (2.5)$$

Матриця вимірювання H визначається так:

$$H_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} (i = 1, \dots, M) \quad (2.6)$$

Отриману схему ФК, яка була описана в рівняннях (1.13) — (1.29), використовується для оцінювання змінної стану X з нелінійної системи (рівняння 2.3 та 2.4) для відстеження багатьох транспортних засобів. Алгоритм відстеження за допомогою СТФК зображений за допомогою наступної блок-схеми:

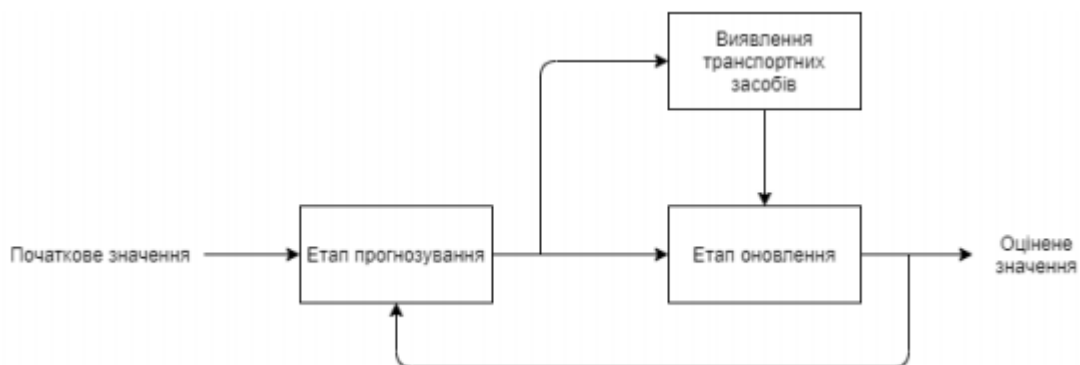


Рисунок 2.5 — Блок-схема відстеження дорожнього руху за допомогою ФК

За результатами визначення об'єктів можна дізнатися, кількість транспортних засобів і згодом їх потрібно відстежити.

Використання моделі передбачення ФК, для знаходження наступної позиції та швидкості транспортного засобу.

Повертання швидкість транспортного засобу в алгоритму фіксування, для вирішення неоднозначності.

За допомогою даних визначення розташування транспортного засобу можемо оновити вектор стану. Потім повертаємося до етапу передбачення, щоб розпочати наступний цикл.

2.3 Загальний процес моніторингу дорожнього руху

Рисунок 2.6 показує загальний процес моніторингу дорожнього руху. Давачі камери та ІЧ-лідар збирають дані про стан дорожнього руху. Потім ці дані вводяться в керуючий комп'ютер, де проводяться математичні обчислення за допомогою ФК. Після цього отримані дані виражають об'єднане спостереження за гаусовою невизначеністю.

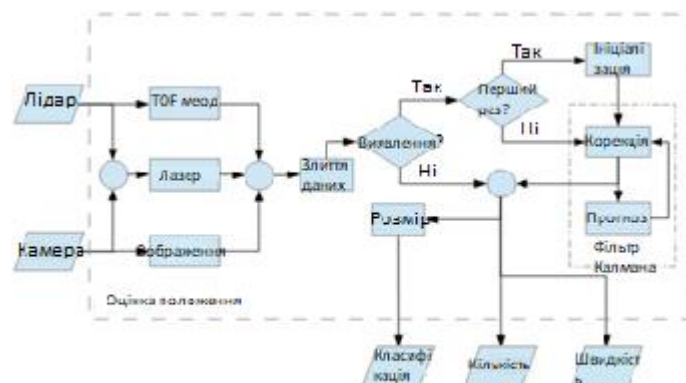


Рисунок 2.6 – Схема моніторингу дорожнього руху .

Після злиття даних система може розрахувати, чи відбулася подія виявлення транспортного засобу. У разі підтвердження виявлення, нова змінна транспортного засобу ініціалізується і перебуває в циклі до тих пір, поки система не визначить, що транспортний засіб повністю покинув зону спостереження. Після того, як транспортний засіб покинув зону спостереження, останнє оновлене значення швидкості виводиться як кінцева швидкість транспортного засобу. У поєднанні з часом проходження розраховується довжина транспортного засобу, на основі якої визначається клас транспортного засобу і підраховується кількість автомобілів цієї ділянки.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Динамічне управління живленням на основі потоку руху

На основі даних, система отримує вхідні параметри транспортного засобу, такі як швидкість, часовий інтервал, тощо.

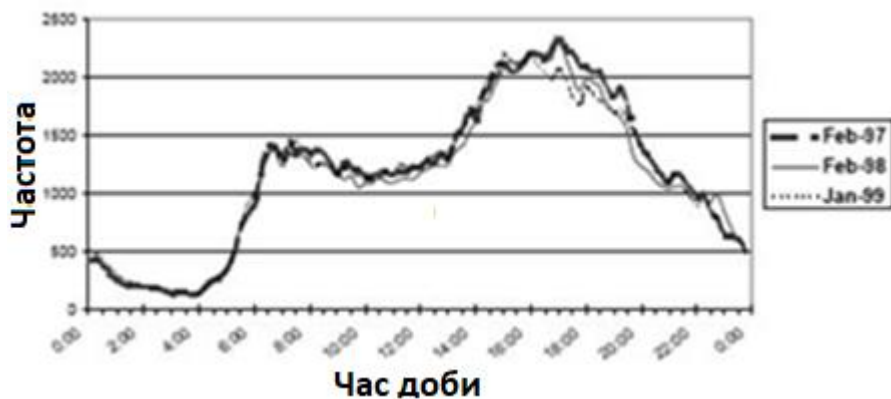


Рисунок 3.1 - Прогнозована картина руху

Рисунок 3.1 показує рух транспорту на ділянці дороги у різний час доби за 3 дні. Як показано на рисунку, обсяг трафіку, який пройшов через одну і ту саму ділянку має повторювану форму. Прогноз, що базується виключно на попередніх даних, може забезпечити високу точність. Оскільки обсяг трафіку за певний період часу тісно корелює з середньою швидкістю транспортних засобів, що проїжджають через це місце, прогнозований обсяг трафіку допомагає системі оптимізувати параметри давачів, включаючи частоту кадрів камери і частоту дискретизації лідара.

Оскільки ці параметри безпосередньо визначають енергоспоживання системи, а також впливають на точність вимірювання, така оптимізація балансує співвідношення енергоспоживання-потужність [11].

На основі знань про майбутній рух транспортних засобів, можна передбачити, коли потрібно перевести систему у режим енергозбереження.

Така стратегія в управлінні живленням називається динамічним управлінням живленням (ДУЖ), що по суті є конструкцією управління енергоспоживанням, яка вибірково змінює режим системного компонента.

За допомогою динамічного управління живленням, ми можемо зменшити енергоспоживання системи, коли наші компоненти перебувають у режимі простою.

3.2 Система динамічного управління живленням

3.2.1 Адаптивний превентивний ДУЖ

Архітектура управління живленням показана на рисунку 3.2. На рисунку, після ініціювання системи «менеджер режимів» спочатку визначає у якому режимі знаходяться давачі, потім надсилає команду «блоку живлення», щоб здійснити перемикання між режимами живлення. Оцінювач створює дані про потоки трафіку, і ці дані використовуються «менеджером режимів» живлення для аналізу попереднього трафіку.



Рисунок 3.2 - Архітектура управління живленням ДУЖ

3.2.2 Диспетчер стану живлення: перехід між режимами живлення

Механізм живлення

Механізм живлення описує режими роботи системи. Він має дві основні категорії компонентів: режим системи та перехід між режимами, і характеризується потужністю та енергоспоживанням системи.

Енергетичні режими

Рисунок 3.3 показує перехід між активним режимом та режимом простою. Як показано на рисунку, коли «запитувач послуг»(давач) просить систему надати енергію, потрібен час TR , щоб переключити систему з режиму очікування на активний. Під час зміни режимів потужність споживання швидко зростає.

Оскільки інтервал часу між другим запитом і третім досить короткий, система прокидається лише після збереження невеликої кількості енергії E_{SAVE} , яка позначена жовтим стовпцем. Слід зазначити, що енергія спожита у перехідний між режимами час, дуже висока, на рисунку зображена червоним стовпцем.

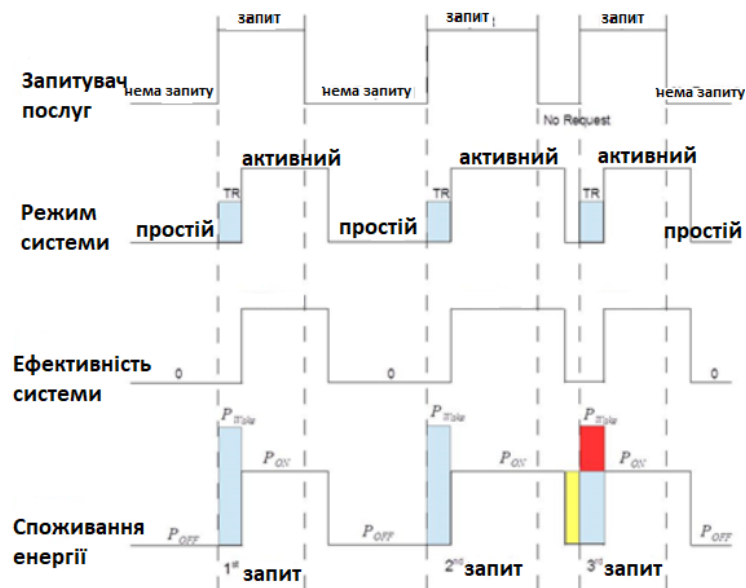


Рисунок 3.3 - Властивість переходу режимів живлення

Щоб запобігти цього, потрібно переконатися, що:

$$E_{WAKE} < E_{SAVE} \quad (3.1)$$

У ДУЖ менеджер режимів потужності намагається виявити простій чергового давача. Якщо виявлено простій, «менеджер живлення» розраховує тривалість періоду простою і переключає його у режим очікування. Після розрахунку часу простою перемикає систему у активний режим, щоб уникнути втрату енергії. У цьому процесі визначається мінімальний період простою, який він займе для компенсації енергетичних витрат. Цей час можна розрахувати за допомогою формули:

$$T_{BE} = T_{TR} + T_{TR} \cdot \frac{P_{TR} - P_0}{P_0 - P_1} \quad (3.2)$$

яка отримана з наступного рівняння:

$$(T_{BE} - T_{TR})(P_0 - P_1) = T_{TR}(P_{TR} - P_0) \quad (3.3)$$

де, T_{BE} - мінімальний період простою, T_{TR} - час переходу від поточного режиму до потрібного, P_0 - енергоспоживання поточного режиму, P_1 - енергоспоживання потрібного режиму і P_{TR} - споживання енергії в перехідному періоді.

Режими живлення

Оцінюємо енергоефективність системи. Для запропонованого способу реалізовано дві категорії давачів. Зазвичай камери мають довгий час пробудження порівняно з лідаром. На основі цього, енергетичний стан системи приблизно визначено в таблиці 3.1. У таблиці С означає сон, Н - неактивний, а А позначає активний.

Таблиця 3.1 - Визначення режиму живлення системи моніторингу дорожнього руху.

Назва режиму	Стан Лідару	Стан камери
C&C	Вимкнений	0 fps, Не налаштовано
C&H	Вимкнений	0 fps, Налаштовано
H&H	0 Гц , Налаштовано	0 fps, Налаштовано
A&A	10 Гц	Налаштовано , 10 fps

Відповідно до таблиці можна визначити режим живлення, як показано на рисунку 3.4. У механізмі живлення слід виміряти споживання енергії в кожному режимі та час затрачений на перехід між цими режимами.

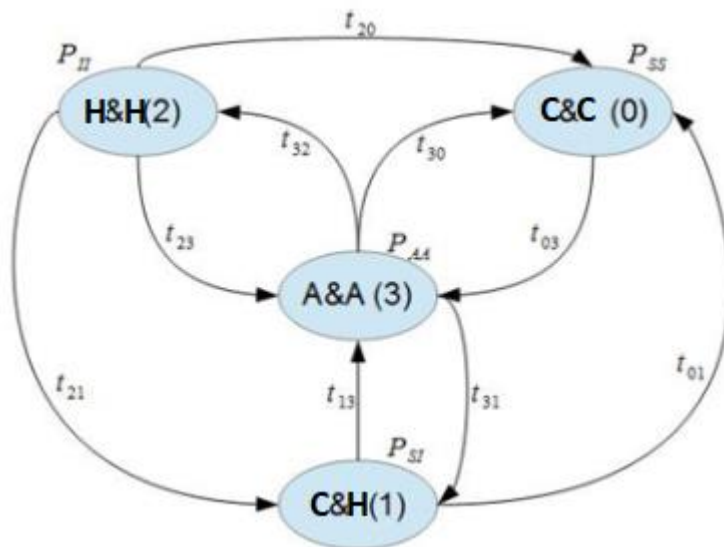


Рисунок 3.4 – Граф режимів системи

3.2.3 Диспетчер стану живлення

У вбудованому ДУЖ прогноз робочого навантаження (затори, очікування сигналів світлофора) базується на останніх даних про рух транспорту. Прогнозування навантаження здійснюється по різному для доріг з однією смугою руху і для декількох смуг.

Перехід режиму живлення в умовах заторів

На дорозі з кількома смугами управління живленням оцінює стан руху в одному напрямку, тому дані для всіх датчиків будуть однаковими.

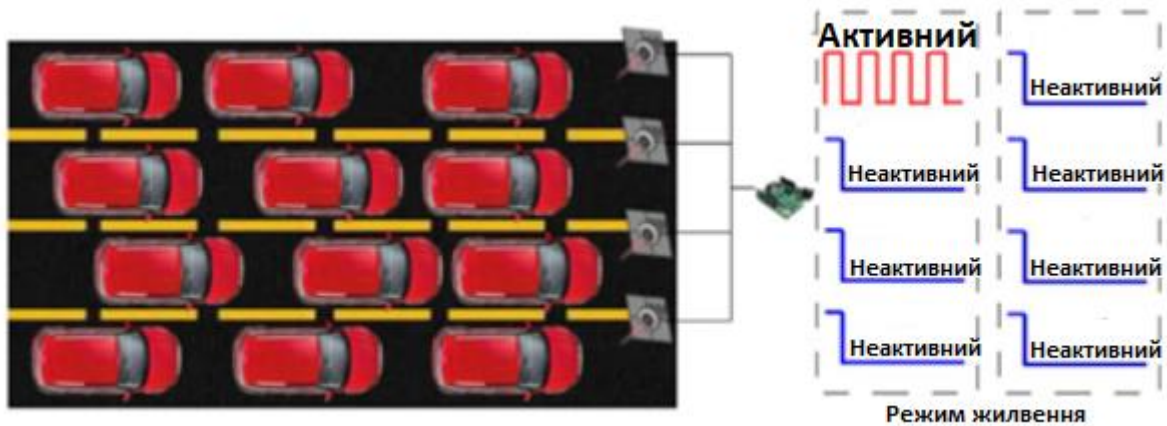


Рисунок 3.5 - Режим живлення при заторах, або очікуванні зеленого сигналу світлофора

На рис. 3.5 показано режим живлення системи при виникненні заторів, або очікування зеленого сигналу світлофора на перехрестях, тощо.

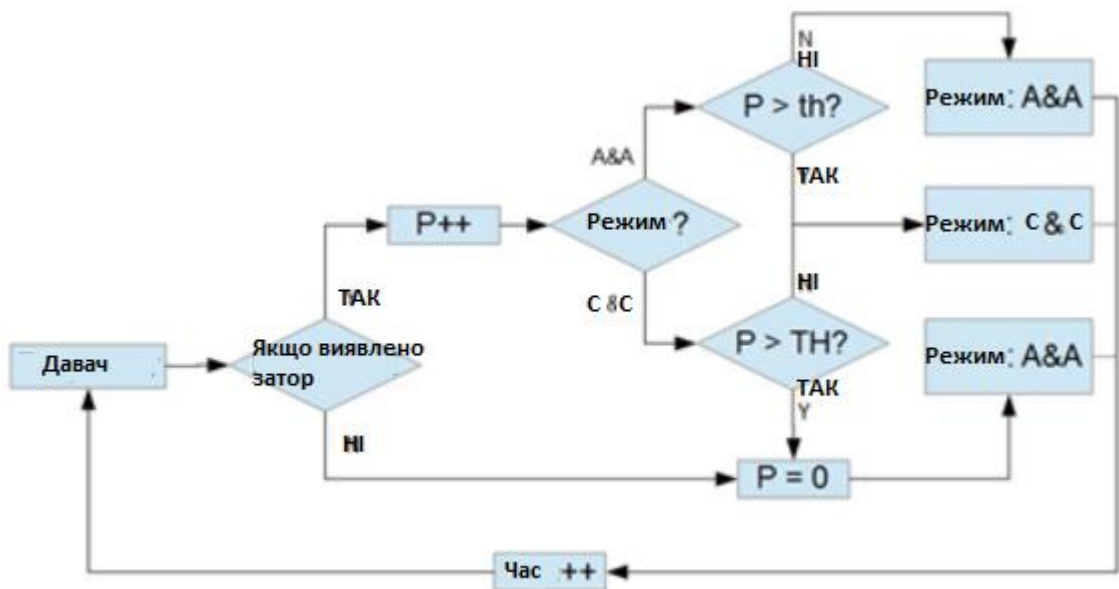


Рисунок 3.6 - Процес переходу між режимами живлення у вище зазначених умовах

На рисунку 3.6 показано, як датчики впливають на режими живлення. На рисунку th і TH є два параметра, отримані з бази даних, які визначають

тривалість часу, коли система залишається в одному і тому ж режимі. Як показано на рисунку, система одразу перейде у режим А&А, коли світлофор буде зеленим.

При прогнозуванні робочого навантаження на рівні однієї смуги час між прибуттям транспортних засобів намагаються оцінити за допомогою двох методів.

Суть полягає у тому, щоб збалансувати точність даних і вартість енергії витраченої на збір цих даних. Висока точність досягається постійними вимірами, але ми не можемо тримати нашу систему завжди увімкненою, бо це зменшує її енергоефективність.



Рисунок 3.7 - Регулювання частоти дискретизації

Як показано на рисунку 3.7, зазвичай два сусідніх транспортних засоби на дорозі мають певну дистанцію між собою, і відстань залежить від швидкості потоку, в якому транспортні засоби рухаються.

Суть першого методу полягає у тому, що кожен водій, намагається підтримувати однакову швидкість руху та відстань між транспортними засобами. Це можна виразити наступним рівнянням:

$$S = \alpha + \beta V + \gamma V^2 \quad (3.4)$$

де, α - довжина транспортного засобу, β - час реакції, а γ - зворотна величина. В основному час реакції на зміну обставин на дорозі встановлюється від 1,5 секунд до 2,3 секунд. При розрахунковому інтервалі і швидкості потоку частоту дискретизації системи можна оптимізувати. При оцінці S , мінімальний

час прибуття між двома транспортними засобами до місця де знаходяться давачі можна розрахувати.

Кожного разу, коли система виявляє, що проїхав транспортний засіб, вона переходить у режим Н&Н, і з розрахованим часом повернеться у режим А&А.

Суть другого методу зав'язаний на світлофорах. Світлофори мають великий вплив на потік трафіку.

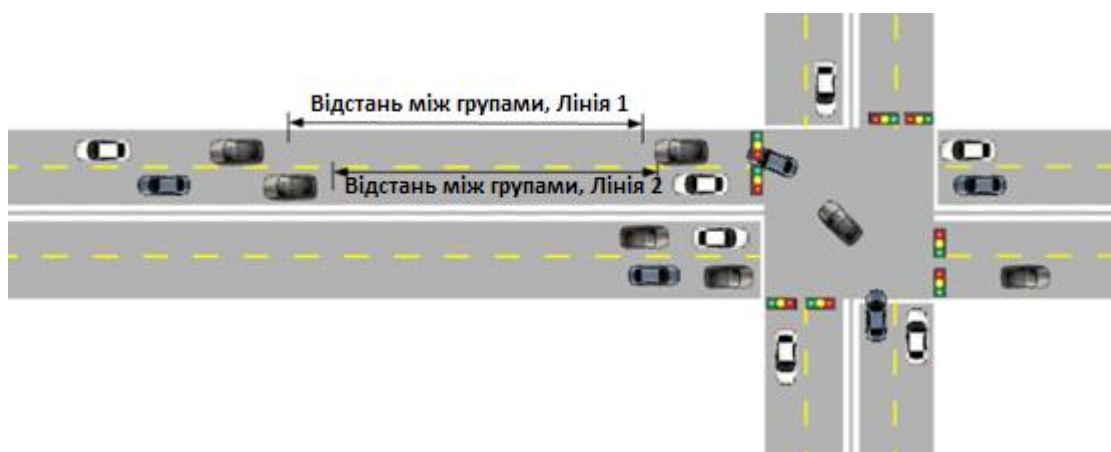


Рисунок 3.8 - Ефект сигналу світлофора

Рисунок 3.8 показує, як дорожні сигнали світлофорів на перехресті впливають на рух. Як показано на рисунку, коли горить червоне світло, транспортні засоби зупиняються і повинні чекати. Протягом цього часу очікування з'являється багато нових автомобілів, які приєднуються до черги і утворюють групу транспортних засобів, так звану «зв'язку». Коли сигнал світлофора змінюється на зелений, машини у черзі починають рух. По мірі руху транспортних засобів кожен з них підтримує дистанцію між собою. Після того, як всі транспортні засоби проїдуть, пройде певний час, перш ніж наступна група транспортних засобів може почати рух. Види зміни режимів живлення давачів:

1. Ефект руху групами.
2. Ефект фільтрації: кількість транспортних засобів не змінюється.

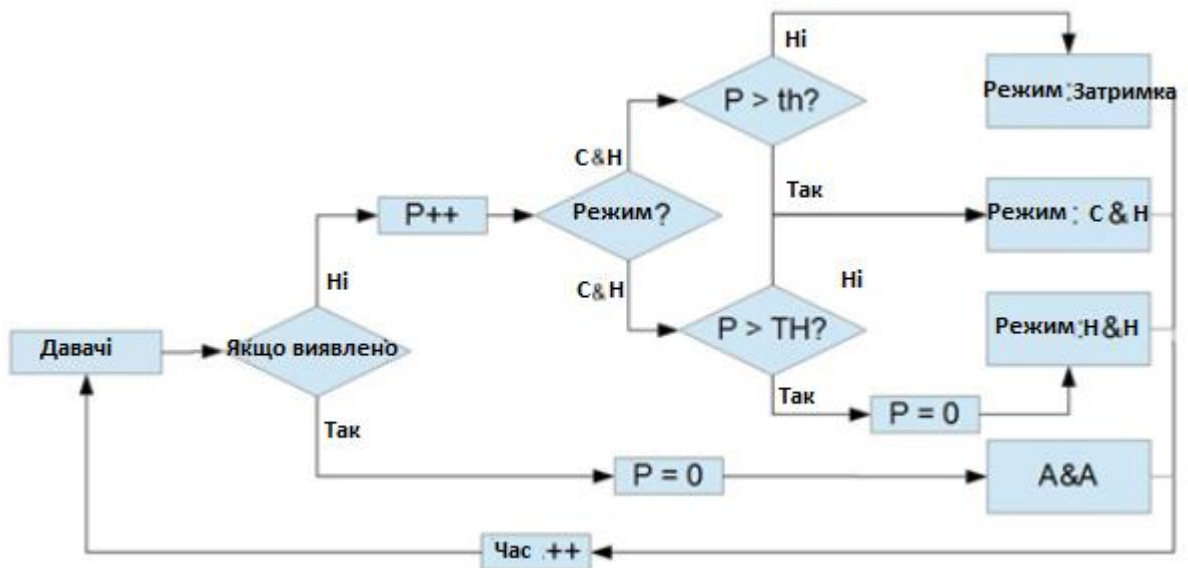


Рисунок 3.9 - Процес переходу між режимами живлення

Ці два ефекти можна використовувати для динамічного управління живленням, як показано на рисунку 3.9. Виявляючи кінець «зв'язки», система переходить в менш енергозатратний режим - С&Н. Після того, як проїде перша група транспортних засобів (на увімкнений зелений сигнал світлофору) система переключиться назад у режим Н&Н через час ТН.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

На основі даних експерименту було розроблено систему динамічним управлінням живлення. Експеримент являє собою кілька польових випробувань, для надійності і точності дорожнього руху. За результатами цих досліджень, прийняті певні рішення для реалізації прототипу динамічного управління живленням.

4.1 Налаштування експерименту

Випробування були проведені в п'яти місцях. Два з яких біля дороги з обмеженням швидкості руху у 65 км/год, решта біля доріг з обмеженням 55 км/год. Система налаштована для тривалих вимірювань.

4.2 Результати моніторингу траси

Дані, які система оцінює - це швидкість руху транспортного засобу, його розміри і клас. На основі цих даних проводяться розрахунки.

4.2.1 Результати підрахунку і аналіз транспортних засобів

Рисунок 4.1 і рисунок 4.2 показує 60-ти секундний вимір лідарної матриці і ІЧ-камери за той же період часу.

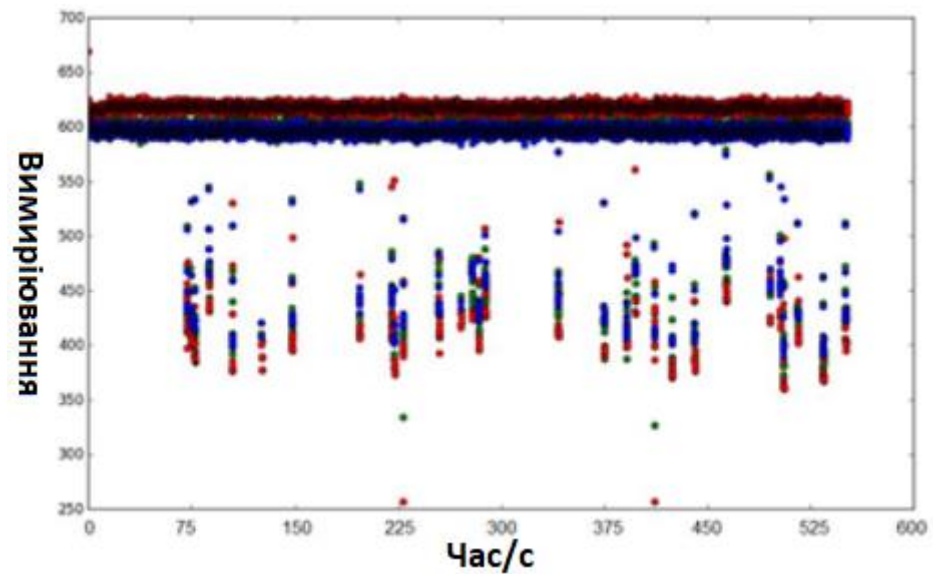


Рисунок 4.1 - Вимірювання трьох лідарів протягом 600 секунд

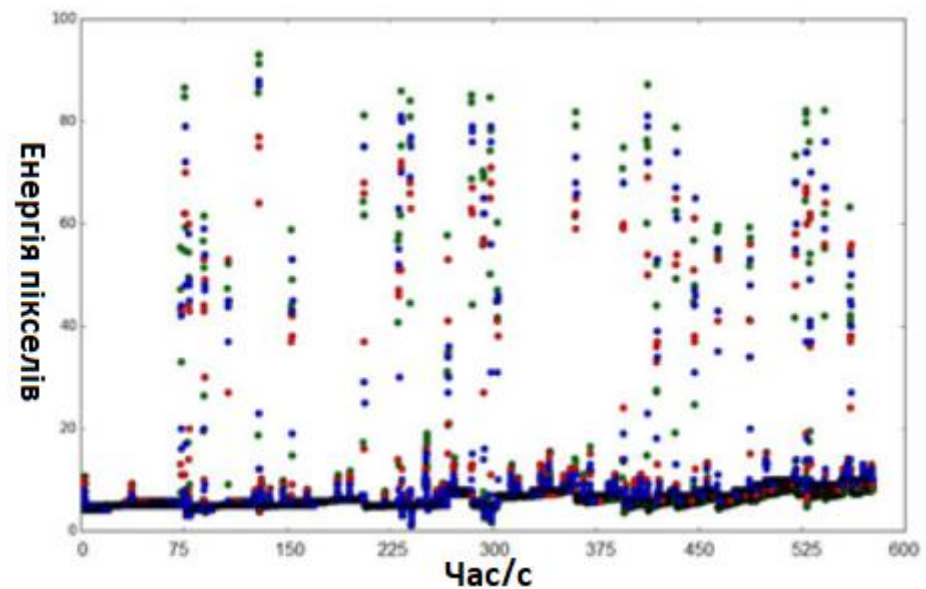


Рисунок 4.2 - Вимірювання трьох областей огляду протягом 600 секунд

Як показано на обох рисунках, результати вимірювання подібні. Оскільки обидва вимірювання мають декілька проб, їх об'єднання дають остаточну оцінку для виявлення транспортного засобу.

Таблиця 4.1 - Підрахунок транспортних засобів при різних параметричних налаштуваннях в денний час.

Камера/Лідар		0	1	2	3
0 Областей фокусу	FP:	NA	6	1	0
	FN:	NA	4	1	0
1 Область фокусу	FP:	11	2	0	0
	FN:	6	1	0	0
2 Області фокусу	FP:	5	1	0	0
	FN:	3	1	0	0
3 Області фокусу	FP:	2	0	0	0
	FN:	2	1	0	0
Загальний підрахунок		97			

Таблиця 4.1 і таблиця 4.2 представляє точність вимірювання системи при підрахунку транспортних засобів вдень і вночі відповідно. У таблиці параметр FP - це кількість виявлень помилкових транспортних засобів, а FN - кількість транспортних засобів, які система не виявила. При більшій кількості камер і лідарів точність вимірів значно збільшується. З таблиці можна зробити висновок, що лідар забезпечує більш надійне виявлення як вдень, так і вночі.

Таблиця 4.2 - Підрахунок транспортних засобів з різними параметричними налаштуваннями в нічний час

Камера/Лідар		0	1	2	3
0 Областей фокусу	FP:	NA	3	0	0
	FN:	NA	0	0	0
1 Область фокусу	FP:	24	2	0	0
	FN:	14	0	0	0
2 Області фокусу	FP:	22	2	0	0
	FN:	14	1	1	1
3 Області фокусу	FP:	22	0	0	0
	FN:	12	1	1	1
Загальний підрахунок		33			



(А) Пішохід, що перетинає вулицю



(В) Погане освітлення

Рисунок 4.3 - Приклади невдалого виявлення транспортного засобу

На рисунку 4.3 показані два приклади неправильного виявлення. Неправильний вимір лідару може бути через дві причини: несправність обладнання, або сторонні об'єкти в діапазоні виміру. На рисунку 4.3(А)

пішохід був сприйнятий системою як транспортний засіб. При вимірах камерою більшість помилкових вимірювань є результатом нестабільного освітлення [15]. Як показано на рисунку 4.3(В).

4.2.2 Результат і аналіз оцінки швидкості транспортного засобу

Оцінка швидкості відіграє важливу роль у точності вимірів системи. Сюди можна віднести і кількість ділянок фокусу і її масштаб. Чим вона більша, тим точніші результати. Але існує оптимальний розмір цієї ділянки фокусу, щоб зменшити енерговитрати системи.

Система класифікує транспортні засоби на основі їх довжини, а оцінка довжини транспортних засобів залежить від швидкості транспортного засобу і часу за який він проїжджає область фокусу.

Таблиця 4.4 Показує класифікацію автомобілів по довжині. Більшість транспортних засобів, це легкові автомобілі. До середніх транспортних засобів відносяться вантажівки і звичайні автобуси, довжина яких варіюється від 6,7 до 15 метрів. Транспортні засоби довжиною понад 15 м класифікуються як великогабаритні.

Таблиця 4.4 - Класифікація транспортних засобів за довжиною

Клас транспортного засобу	Довжина транспортного засобу(м)
Велосипед	<2
Короткий транспортний засіб	2 - 6,7
Середній автомобіль	6,7 - 15
Великий автомобіль	> 15

Таблиця 4.5 - Результат класифікації транспортного засобу

Клас транспортного засобу	Ручний підрахунок	По оцінкам
Велосипед	1	3
Короткий транспортний засіб	73	74
Середній автомобіль	5	5
Великий автомобіль	0	0

4.3 Вплив динамічного управління живленням

Проаналізувавши вхідні дані, можна розрахувати вартість енергії на різних ділянках та в різний час доби. Це дасть змогу зменшити витрати енергії, тим самим збільшити енергоефективність системи.

4.3.1 Збільшення енергоефективності

Необхідно встановити два параметра, t_h і T_H , де, t_h - вирішує коли системі переходити у режим сну C&C, а T_H - коли переходити у активний режим A&A.

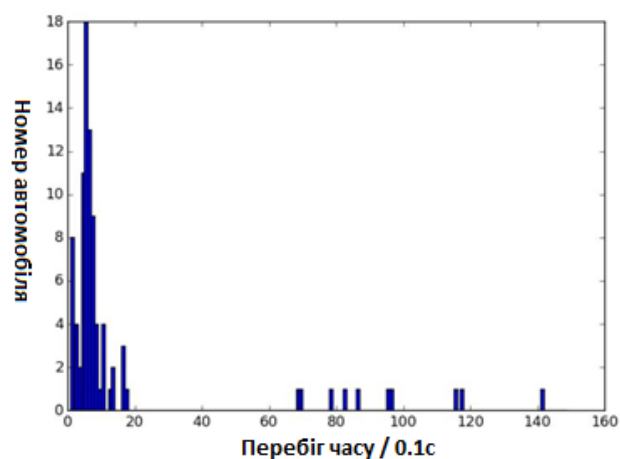


Рисунок 4.4 - Розподіл часу проходження

Як показано на рисунку 4.4, більшість транспортних засобів проходять через поле зору датчиків менш ніж за 2 секунди, в той час як для деяких транспортних засобів потрібно значно більше часу (понад 6 секунд). Використовуючи кластеризацію К-середніх, ці часи проходження групуються в два кластери, і два параметра можуть бути розраховані за допомогою цих рівнянь:

$$th = \max\{T_1\} \quad (4.1)$$

$$TH = \max\{T_2\} \quad (4.2)$$

де, T_1 - група транспортних засобів, які проїхали швидше ніж за 2 секунди, а T_2 - більше ніж за 6 секунд.

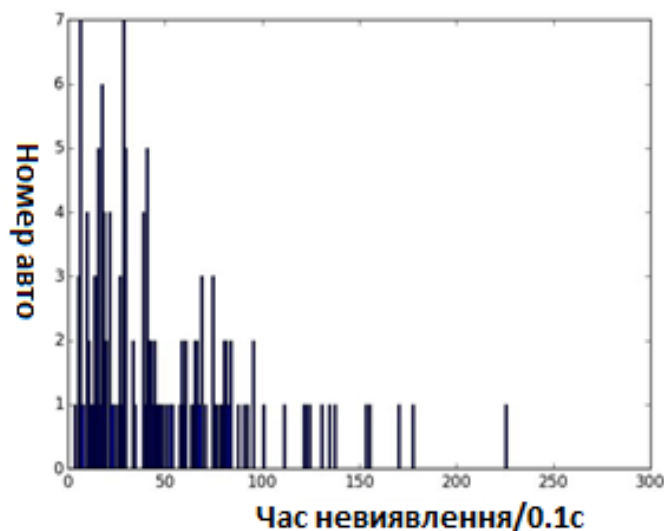
Результати представлені в таблиці 4.6. У таблиці дані у стовпцях 7 та 8 зібрані на ділянках з інтенсивнішим освітленням. При виявленні заторів, або коли транспортні засоби очікують зелений сигнал світлофора, економиться близько 10% витрат енергії. Оскільки транспортний засіб після зеленого сигналу світлофора починає рух, швидкість дуже мала то його вплив як на кількість транспортних засобів, так і на оцінку швидкості насправді дуже обмежена.

Таблиця 4.6 - ДУЖ на основі результатів при заторах чи очікуваннях на світлофорах

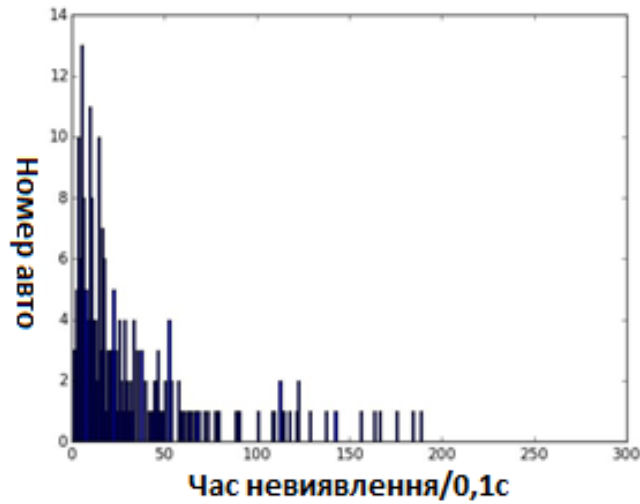
В таблиці 4.7 приведені результати переходу системи між режимами живлення. [14] Перехід режиму живлення з Н&Н в А&А займає менше 0,05 секунди, що набагато менше максимально допустимого часу. Через це системі немає необхідності автоматично виводити її з режиму Н&Н після t_h , і стан живлення може залишатися на Н&Н. Через це, система не виявляє хибні транспортні засоби і може залишатись у режимі Н&Н, при цьому економлячи енергію. Загальна економія енергії коливається від 10 до 16%.

4.3.3 Зміна режиму живлення при великих групах транспортних засобів

Рисунок 4.5 показує порівняння двох розподілів часу для груп транспортних засобів, які очікували зелений сигнал світлофора. У порівнянні з рис. 4.4, важко відрізнити час між групами транспортних засобів. Це пов'язано з тим, що в багатьох випадках, коли траєкторія руху не є щільною, траєкторія руху не може бути точно виміряна і формується випадковим чином.



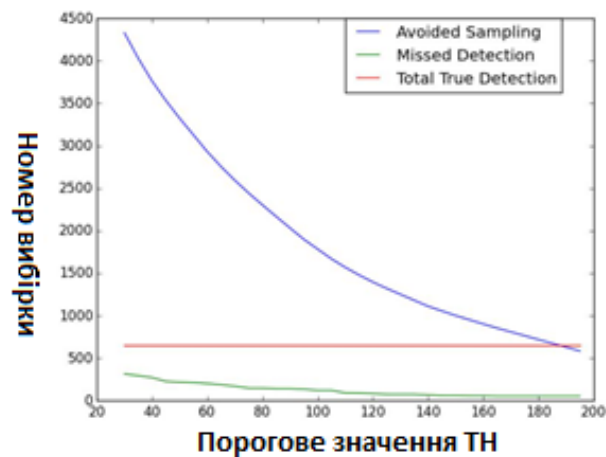
(А) Розподіл часу для групи транспортних засобів



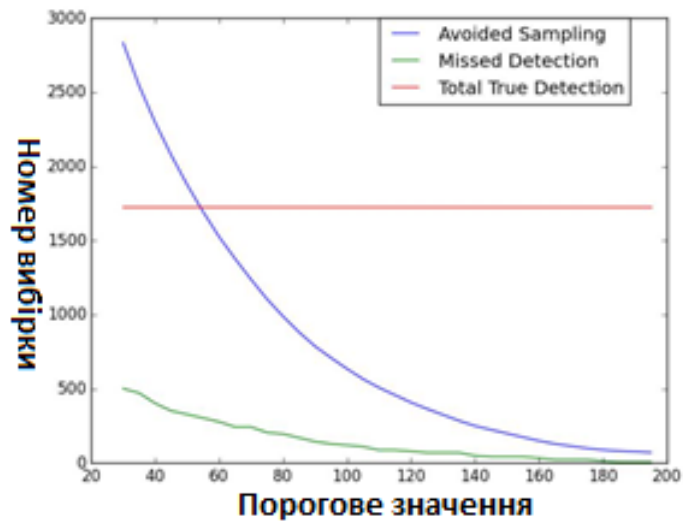
(В) Розподіл часу для групи транспортних засобів

Рисунок 4.5 - Розподіл часу на різних ділянках вимірювання для групи транспортних засобів

На основі цих даних, можна проаналізувати коли потрібно переводити систему у більш енергоефективний режим і використати це для економії енергії. Час ТН - це час, на який система може перейти у режим Н&Н, до поки наступна група транспортних засобів очікує зеленого сигналу світлофора. Тобто, наша система буде економити близько 13-16% енергії.



(а) Ефект різних переходів між групами режиму живлення



(б) Ефект різного переходу між групами режиму живлення

Рисунок 4.6 - Різні міжгрупові переходи між режимами живлення на двох ділянках вимірювання

Таблиця 4.8 - ДУЖ на основі результату моделювання оцінки часу між групами транспортних засобів.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Час	10:00	14:00	16:00	23:30	15:00	16:00	11:00	12:00
Локація	S.M	S.M	S.M	N.M	N.M	N.M	U.C.B	U.C.B
Затрата енергії датчика	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516	0.516
Економія датчика, %	5.49	5.6	6.78	19.61	10.74	9.09	9.20	10.19
Загальне виявлення	1661	1730	1704	369	651	765	1813	1645
Пропущене виявлення	147	122	155	78	82	71	77	91
Уникнення проб	681	693	841	2377	1302	1102	1115	1235
Оригінальна вибірка	7980	7980	7980	7980	7980	7980	7980	7980
<i>th</i>	96	96	96	120	120	120	172	172

Таблиця 4.8 відображає результат економії енергії при переходах у інші режими живлення. Таблиця демонструє, що, хоча процес має сильну випадковість, певна закономірність все ж існує. Перші три набори даних зібрані на широкій вулиці з насиченим трафіком. Четверта вибірка даних збирається вночі і за цей період часу проїхало набагато менше транспортних засобів. Цей факт призводить до неточності виявлень транспортних засобів. З іншого боку, досягається набагато більше економії енергії. П'ятий і шостий набір даних збираються в тому ж місці, але в денний час. У міру того, що присутня велика кількість транспортних засобів, рух стає більш передбачуваним, точність вимірювань збільшується, що у свою чергу збільшує витрати енергії. Останні два набори даних збираються в місці з ліпшим освітленням, тому мають хорошу передбачуваність навіть при великому русі. В результаті досягається значне зниження енерговитрат.

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Прототип автономної системи дорожнього руху. Система в основному складається з чотирьох блоків: обчислювального блоку, блок живлення з компонентом збору енергії, блок датчиків і блок зв'язку. Розглянемо підбір апаратного забезпечення, можливості його монтажу та налаштування.

5.1 Підбір апаратного забезпечення



Рисунок 5.1 - Схема системи моніторингу дорожнього руху

Рисунок 5.1, представлена схема розробленого прототипу системи моніторингу дорожнього руху. Блок живлення містить акумулятор, контролер зарядки, інвертор та сонячну панель. Блок живлення збирає сонячну енергію, за допомогою сонячної панелі та накопичує її у акумуляторі. Акумулятор забезпечує живленням управляючий комп'ютер та іншу електроніку.

Управляючий комп'ютер відіграє важливу роль у системі, бо взаємодіє з усіма компонентами. В якості обчислювального блоку обрано модель Raspberry Pi, для управління датчиками, обробки даних та управління живленням. Дана модель має дуже низьке енергоспоживання і, як наслідок, обмежену обчислювальну здатність. З цієї причини всі алгоритми розроблені таким чином, щоб мінімізувати витрати енергії на обчислення. Сенсорний блок складається з сенсорів двох типів, включаючи лідарну матрицю і цифрову камеру. Лідар, який використовується в системі - LIVOX Mid-100, використовує лазер з довжиною хвилі 905 нм., і вимірює відстань від 0 до 40 м. Управляючий комп'ютер взаємодіє з лідар-антенною по протоколу I²C, з максимальною частотою 50 Гц. Реле SSR, використовується для управління живленням. Для датчика зображення використовується цифрова камера Hikvision DS-2CD2021G1-I (4 мм), яка використовує кодування зображень H.265+, H.265, H.264+, H.264 і протокол ONVIF. Камера має частоту кадрів 30 і роздільну здатність 1920x1080. Блок зв'язку містить у собі ZigBee-модуль [1] XBee, щоб реалізувати зв'язок між системою і хмарним сховищем, або іншими системами моніторингу дорожнього руху, основана на стандарті IEEE 802.15.4-2006 для бездротових мереж.

Таблиця 5.1 - Складові системи моніторингу дорожнього руху.

Назва деталі	Основні компоненти	Вага	Розмір
Сонячна панель	Сонячна панель, контролер живлення;	2,29 кг	36мм * 52мм
Сенсорний блок	ІЧ-камера, 2 до 6 лідарів, сенсорний контролер	1.8 кг	36.5мм * 32мм * 17мм
База	Raspberry Pi, інвертор, акумулятор	7.25 кг	23мм * 30мм * 26мм

Таблиця 5.1, складові розробленої системи. Сонячна панель і давачі встановлені на верху опори, це продемонстровано на рисунку 5.2. Щоб гарантувати мобільність системи, вага і розміри компонентів є мінімальними.

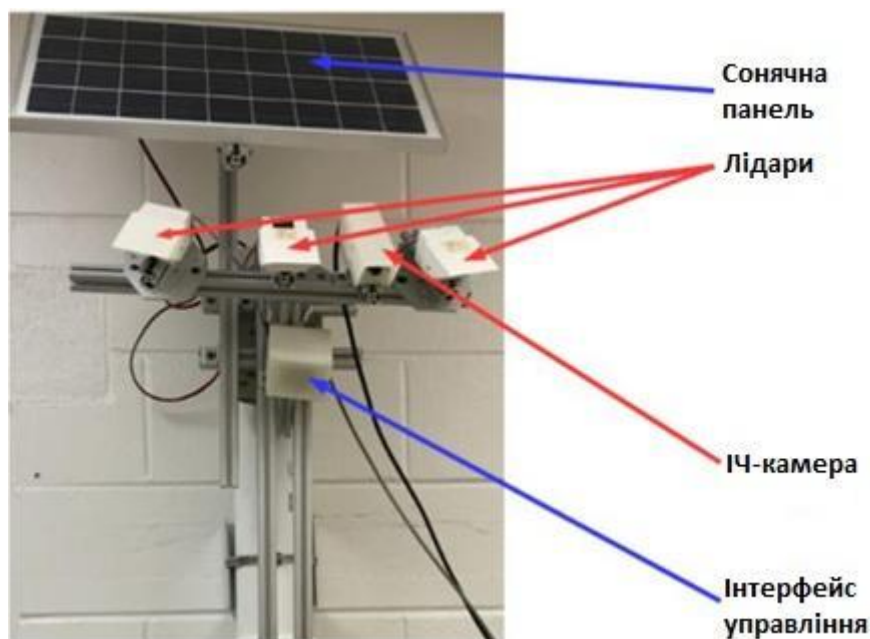


Рисунок 5.2 - Розроблений прототип системи моніторингу дорожнього руху

Оскільки система призначена для цілодобового моніторингу, всі електронні компоненти герметичні і захищені кожухами, які є водонепроникними і пилонепроникні. Система може бути встановлена на будь-якому стовпі, або конструкції, які можна знайти поряд з більшістю доріг. Давачі мають можливість обертання, панорамування і нахилу, що дозволяє системі змінювати зону спостереження. Крім того, за рахунок додавання додаткових сенсорних модулів систему можна масштабувати для моніторингу доріг з декількома смугами руху.

Лідар

При виборі лідару для запропонованої системи враховуються чотири характеристики: діапазон виміру, точність, частота і споживана потужність. Оскільки лідари в системі використовуються для вимірювання відстані між

місцем установки і контрольованою дорогою, використовувані лідари повинні мати діапазон вимірювання більше, ніж ця відстань. При установці на ліхтарному стовпі найкращою відстанню буде 30 метрів. Така відстань дозволяє охоплювати декілька смуг руху. Для досягнення високої точності вимірювань лідар потрібно налаштувати під певну частоту. Наприклад, на дорозі з обмеженням швидкості 70 кілометрів на годину, лідар повинен працювати на частоті 20 Гц. Споживана потужність - ще одна важлива характеристика при виборі лідару. Оскільки завжди краща більш низька споживана потужність, потрібно вибрати лідар з потужністю менше 1 Вт.

Лідар, який використовується при розробці прототипу - це лідар LIVOX Mid-100, виробництва LIVOX. Споживана потужність близько 0,5 Вт, в безперервному режимі роботи давач вимірює відстань до 40 метрів з точністю близько 2 см.

Камера

Використовуваний ІЧ-давач не вимагає високої потужності. У розробленій системі використовується цифрова камера Hikvision DS-2CD2021G1-I (4 мм). Камера підтримує розширення у 1920x1080 і частоту кадрів 30 кадрів в секунду. Кут огляду по вертикалі становить 46 градусів і 86 по горизонталі.

Управляючий комп'ютер

В прототипі використовується одноплатний комп'ютер Raspberry Pi, його великим плюсом є дуже низьке енергоспоживання. Оскільки обчислення є простими, система не вимагає дуже високої обчислювальної потужності. У комп'ютері RPi 3 встановлено 4 процесора ARM Cortex-A53 з частотою 1,2 ГГц. Середнє енергоспоживання становить близько 2 Вт, що прийнятно для автономного живлення.

5.2 Встановлення та калібрування

Для моніторингу дорожнього руху в різних умовах, розроблена система вимагає певного кріплення і налаштування.

Установка

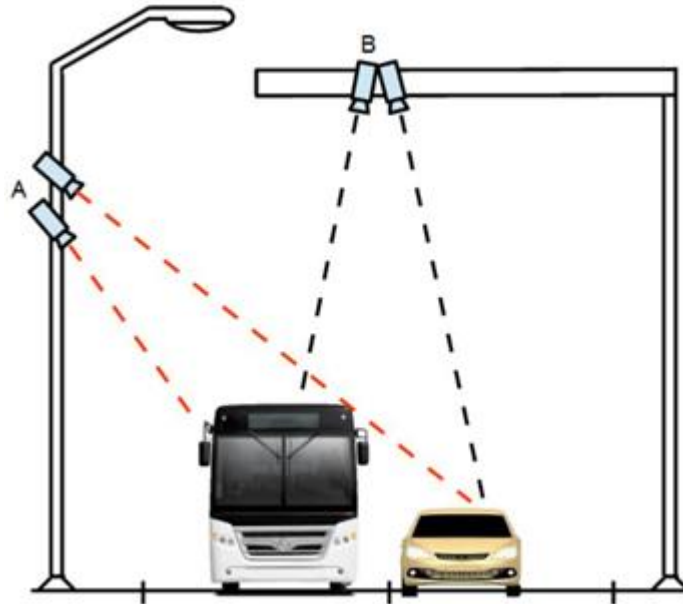


Рисунок 5.3 - Установка системи

Рисунок 5.3 показує можливі варіанти кріплення системи. Як показано на рисунку, основною проблемою, яку необхідно враховувати при установці є перекриття транспортних засобів іншими, більшими за розмірами транспортними засобами, такі як автобуси, вантажівки, фури. З цієї причини, чим більше смуг потрібно контролювати, тим вище повинна бути встановлена система. Однак тут є два обмеження. По-перше, деякі стовпи можуть бути недостатньо високими. Крім того, якщо система встановлена занадто високо, лідар не зможе зібрати дані через технічні характеристики, у даному випадку - діапазон виміру. Тому її можна встановити, як демонструє рішення (В) на рисунку 5.3.

Налаштування

Налаштування системи необхідне при першій установці. Як показано на рисунку 5.4, L_0 , L_1 , L_2 три лідари. А, В і С - три точки, на які націлені лідари.

Cam - це ІЧ-камера, її область фокусу обмежена синім кольором. Тут передбачається, що всі лідари мають однаковий кут нахилу. Налаштування переслідує дві мети:

Ціль першої мети є визначення області в якій будуть працювати лідари і збирати дані. Ціль другої - налаштувати ІЧ-камеру, щоб вона могла збирати точні дані враховуючи всі фактори, які на це впливають. Такими факторами можуть бути, яскраве світло, об'єкти які перекривають область видимості, тощо.

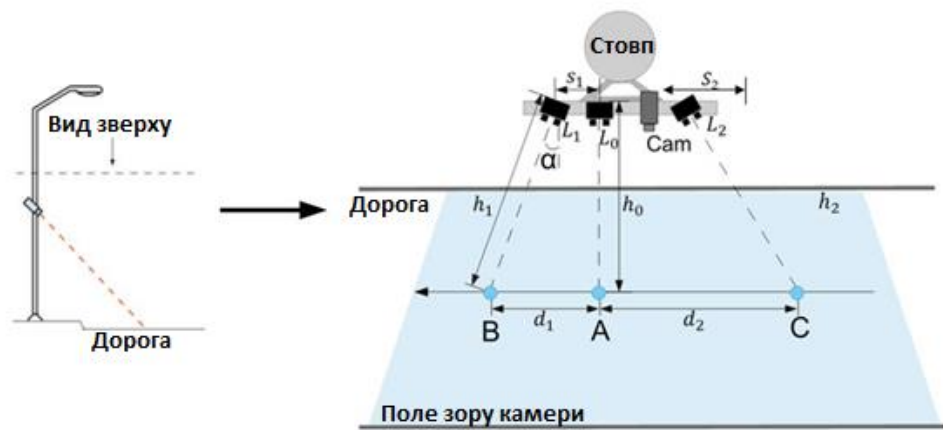


Рисунок 5.4 - Налаштування системи після установки

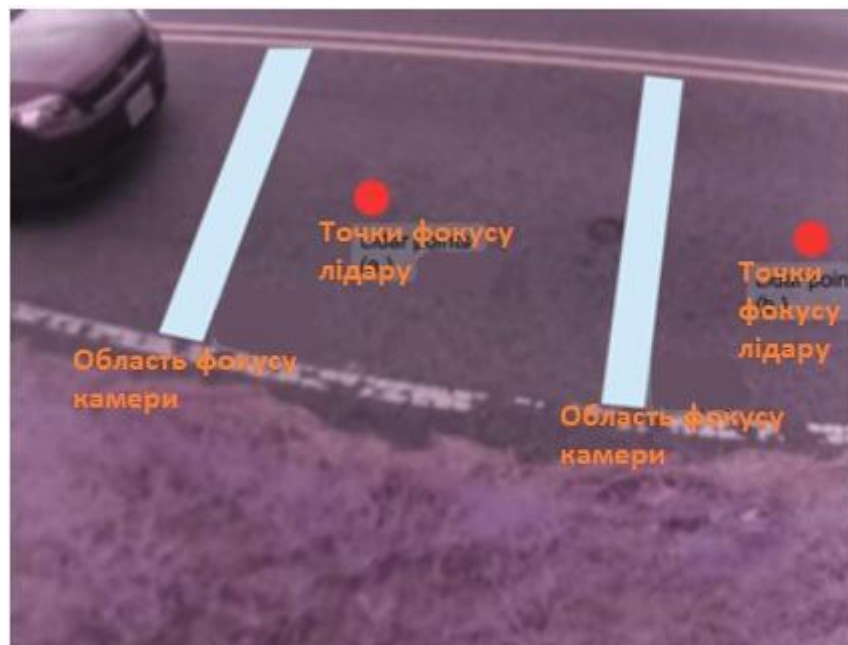


Рисунок 5.5 - Вид налаштованої камери

5.3 Режими системи живлення

При оцінці прототипу, оцінюється властивість енергоспоживання системи. Аналізуються затрати енергії у кожному режимі. На основі цих досліджень можна отримати інформацію для підвищення енергоефективності системи в цілому.

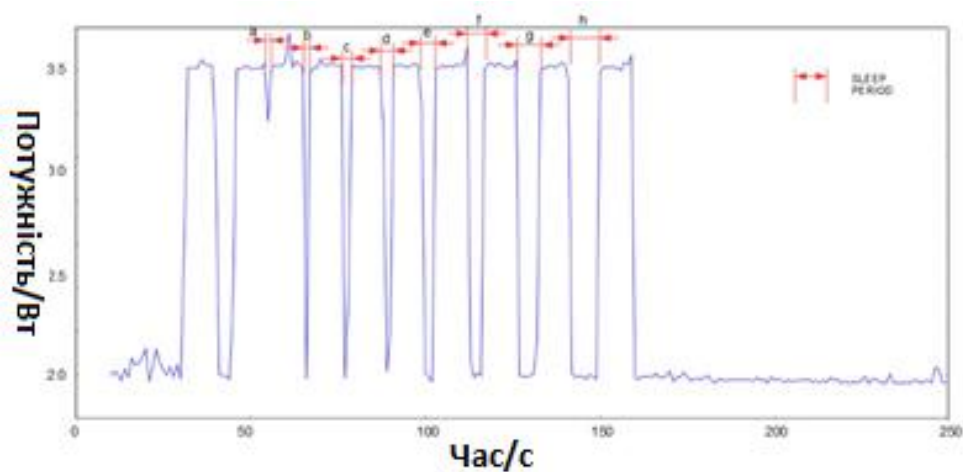


Рисунок 5.6 - Перехід між режимами живлення: чотири лідари між режимом простою та сну.

Рисунок 5.6 показує кількість спожитої потужності у режимі простою та режимі сну. Як було визначено раніше, в режимі простою лідарна матриця вже налаштована і готова до вимірювань, а в режимі сну - вимкнена. Під час тестування було виявлено, що для переходу масиву з 4 лідарів в стан простою потрібно менше 0,53 секунди. На рисунку змінні a, b, c, d, e, f, g і h представляють 8 періодів режиму сну. Період "a" є найкоротшим і становить 1 секунду, а період "h" є найдовшим, близько 10 секунд. Як у попередньому прикладі, рисунок 5.7 відображає вже масив з трьох лідарів, які перемикаються між активним режимом та режимом простою. У активному режимі лідар проводить вимірювання на певній частоті, і потужність збільшується в порівнянні з режимом простою. Як показано на рисунку, вимірювана потужність змінюється. Час, необхідний для виведення лідара з режиму простою в активний режим становить менше 0,05 секунди.

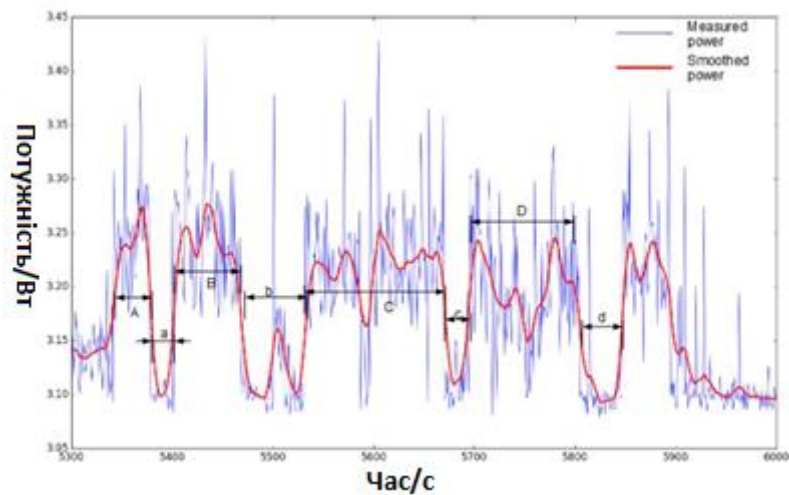


Рисунок 5.7 - Перехід режимів живлення: три лідари між режимом простою і активним режимом

Рисунок 5.8 показує зміну потужності, коли камера перемикається між активним режимом живлення і режимом сну. У режимі сну, камера не витрачає енергії і при пробудженні вимагає повторної конфігурації. У режимі простою камера вже налаштована і готова до зйомки кадрів. Потрібно близько 1 секунди для переходу камери з режиму сну у активний і 0,05 секунди для переходу з режиму очікування у активний режим.

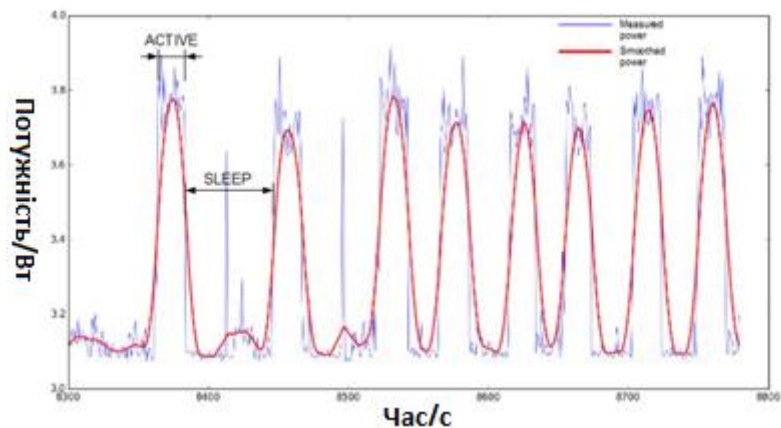


Рисунок 5.8 - Перехід між режимами живлення: Одна ПЧ-камера між активним режимом і режимом сну

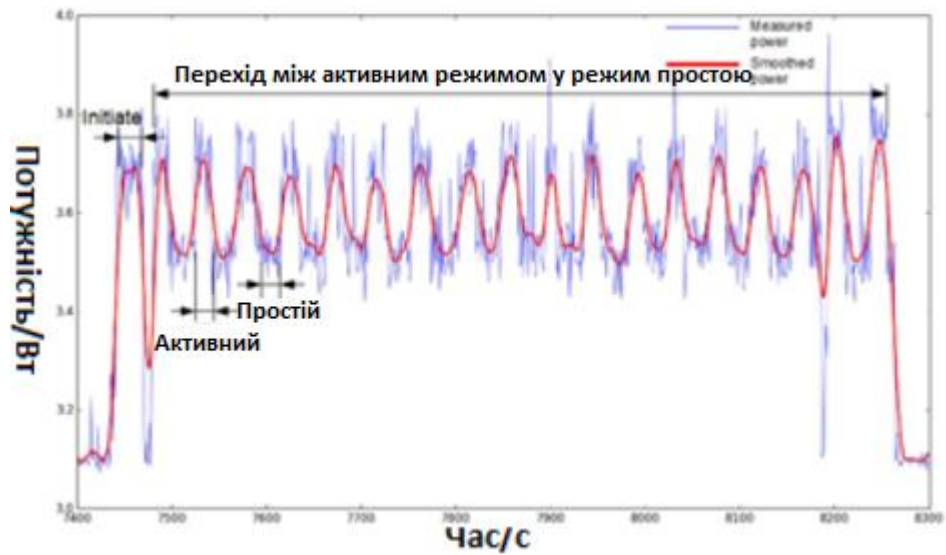


Рисунок 5.9 - Перехід між режимами живлення: Одна ІЧ-камера між активним режимом і режимом простою

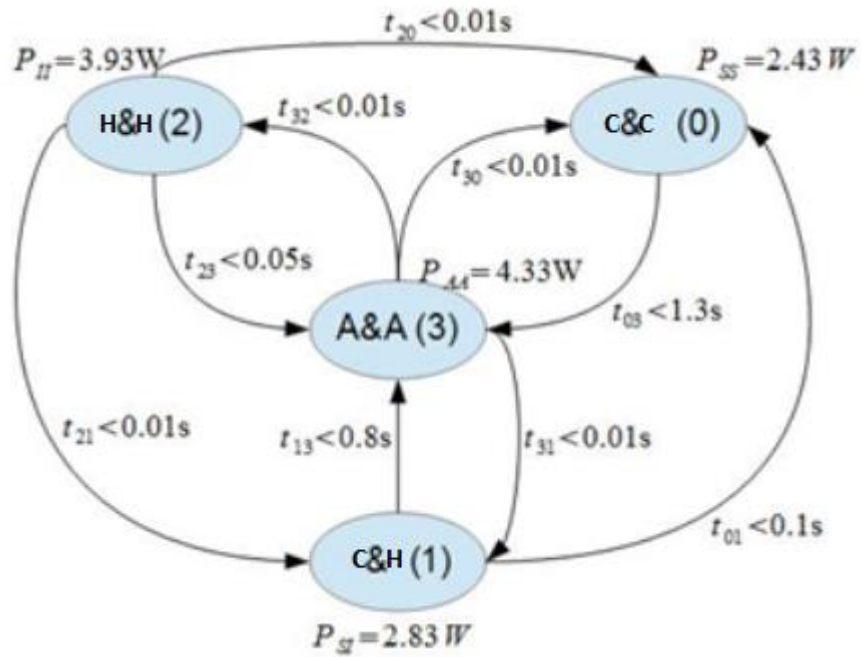


Рисунок 5.10 - Граф прототипу живлення

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Значення охорони праці для забезпечення безпечних умов праці

Створення безпечних, нешкідливих і сприятливих виробничих умов праці – одне з найважливіших завдань сучасного виробництва і має не тільки інженерне, але і соціальне значення.

На сучасному етапі охорона праці являє собою систему правових, соціально-економічних, лікувально-профілактичних засобів та заходів спрямованих на забезпечення здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Основним принципом політики в галузі охорони праці є визнання пріоритету життя і здоров'я працівників. Виходячи з цього сформовані основні завдання в галузі охорони праці:

- розробка і впровадження високо виробничих технологій;
- підвищення рівня безпеки діючого виробничого устаткування і технологічних процесів за рахунок ліквідації небезпечних і шкідливих виробничих факторів;
- удосконалення оснащення підприємств сучасними технічними засобами безпеки і виробничої санітарії;
- здійснення навчання населення і підвищення кваліфікації працівників з охорони праці;
- зміцнення технологічної і виробничої дисциплін;
- охорона навколишнього середовища.

Техніка безпеки і заходи по охороні праці і промисловій санітарії невід'ємно пов'язані з технологією.

Зміна технологічних процесів і обладнання потребують вивчення їх з точки зору безпеки виробництва та вишукування відповідних шляхів, які усувають фактори, які призводять до нещасних випадків.

Основне завдання в тому, щоб зробити працю на підприємстві безпечною та здоровою. Виконання цього завдання може бути забезпечене шляхом комплексної механізації виробничих процесів, більш повної їх автоматизації, досконалістю технологічних процесів, переходом від техніки безпеки до безпечної техніки, а також широкого впровадження на підприємствах заходів по оздоровленню умов праці, техніки безпеки та наукової організації праці.

У повній відповідності з діючим законодавством на підприємствах розробляються правила внутрішнього розпорядку і інструкції з техніки безпеки з детальним вказівками профілактичних заходів, безпечних прийомів роботи для кожної професії і кожного виду робіт.

Контроль за дотриманням законодавства, а також за виконанням заходів по охороні праці на всіх підприємствах покладається на органи державного та громадського нагляду. Функції державного нагляду виконують технічні інспекції профспілок, Державний міський технагляд, Державна санітарна інспекція та інші.

На підприємствах робочі проходять відповідний інструктаж, об'єм і зміст якого та строк стажування для робочих по кожній професії встановлює головний інженер підприємства. Інструктуванням передбачаються загальні питання безпеки, які встановлені на даному підприємстві, і спеціальні питання техніки безпеки, які пов'язані з виконанням окремих видів робіт.

Всі робочі не менше одного разу на рік повинні проходити повторний інструктаж з техніки безпеки і підлягають перевірці знань комісією. При введенні нових технологічних процесів і методів праці, а також при введенні в дію нових правил і інструкцій з техніки безпеки робочі повинні пройти додаткове навчання і інструктаж.

На основі статистичного аналізу рівня травматизму встановлено, що біля 50% всіх нещасних випадків на підприємстві – це отруєння парами шкідливих речовин. На долю хімічних і термічних опіків припадає близько 25% від загальної кількості травм. Близько 12% становлять травми механічного походження. Усе решта – травми від ураження електричним струмом.

6.2 Системи засобів і заходів щодо електробезпеки

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів, що забезпечують захист людей від небезпечної і шкідливої дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля, статичної електрики. Вимоги електробезпеки викладено в ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту»

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- захист від дотику до струмопровідних частин;
- застосування електроенергії з безпечними величинами напруги;
- усунення небезпеки ураження людей струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування;
- застосування індивідуальних захисних засобів від ураження електричним струмом.

Недоступність струмопровідних частин для випадкового дотику досягається ізоляцією їх струмонепровідними матеріалами. Провідники електричного струму повинні мати робочу ізоляцію. Передбачено застосування в деяких випадках *додаткової, підсиленої чи лінійної ізоляції*.

Недоступність розташування струмопровідних частин досягається *розміщенням їх на висоті, під підлогою чи приховано в стінах*. Незахищені струмопровідні частини, до яких можливий дотик людей, надійно огорожують у всіх випадках, якщо напруга перевищує:

- 65 В – в приміщеннях без підвищеної небезпеки;

- 42 В – в приміщеннях з підвищеною небезпекою;
- 12 В – в приміщеннях особливо небезпечних.

У випадку напруги понад 250 В огорожують не тільки незахищені, але й ізольовані струмопровідні частини.

Застосування малих напруг – дуже ефективний захист від ураження електричним струмом. Для живлення кіл управління технологічним обладнанням, встановленим в особливо небезпечних приміщеннях і приміщеннях з підвищеною небезпекою; кіл управління пересувного устаткування і для живлення ручного інструменту використовують напругу не вище 42 В.

Захисне заземлення, занулення і відключення – основні заходи захисту людей від ураження електричним струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування.

Захисне заземлення – свідоме електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих частин електроустаткування. Вимоги до захисного заземлення викладено в ДСТУ ІЕС 60050-604, ДСТУ ІЕС 61140, ГОСТ 12.1.009, ГОСТ 12.1.030. Мета заземлення – понизити до безпечної величини напругу відносно землі на металевих частинах електроустаткування, які випадково виявилися під напругою, і цим усунути небезпеку ураження людей електричним струмом.

Заземлюючим пристроєм називається сукупність заземлювачів – металевих провідників, які з'єднані з землею, і заземлюючих провідників, які з'єднують заземлювальні частини електроустаткування з заземлювачами.

Заземлювачі бувають штучні та природні.

Як штучні заземлювачі використовують сталеві стрижні, які забивають в ґрунт вертикально і з'єднують між собою сталюю шиною зварюванням.

Розрізняють заземлюючі пристрої:

- контурні (заземлення знаходиться у безпосередній близькості від електроустаткування);

- виносні (заземлення розміщені на спеціально виділеній ділянці території підприємства).

Для заземлення електроустаткування у виробничих та інших приміщеннях використовують здебільшого виносні заземлюючі пристрої з штучними заземлювачами. При цьому металеві елементи кожного електрообладнання під'єднують окремими заземлюючими пристроями до транзитної шини, яка прокладається всередині будівлі і не менше, ніж у двох місцях під'єднується до заземлювачів.

Захисне заземлення електричних установок обов'язкове згідно з ДСТУ ІЕС 61140:

- у разі номінальної напруги 380 В і вище змінного струму і 440 В і вище постійного струму – у всіх випадках;
- у разі номінальної напруги 42 В і вище змінного струму і 110 В і вище постійного струму – під час роботи в умовах з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних.

Занулення – свідоме електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих струмопровідних частин, які можуть виявитися під напругою. Занулення повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ.

Зануленню підлягають ті ж машини і апарати, що і заземленню. В електричних мережах з нульовим проводом електроустаткування можна занулювати, заземлювати чи одночасно занулювати і заземлювати.

Захисне вимкнення – швидкодіючий захист, що забезпечує автоматичне відключення електроустаткування, коли в ньому виникає небезпека ураження струмом. Така небезпека може виникнути у випадку:

- замикання фази на корпус електроустаткування,
- зниження опору ізоляції фаз відносно землі,
- появи в мережі більш високої напруги,
- торкання людини до струмопровідних частин.

Вимоги до захисного вимикання викладено в ГОСТ 12.1.009-76 ССБТ.

Захист від електромагнітних випромінювань і електричних полів забезпечується виконанням вимог ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ.

Захист від електричних статичних полів полягає в знятті з ізольованих від землі металевих частин устаткування електричної напруги, яка виникає внаслідок статичної електризації під час технологічних процесів, що супроводжуються тертям (намотування тканин, паперів, плівки), подрібненням твердих тіл, пересипанням сипучих матеріалів, переливанням рідин-діелектриків (бензин, керосин). Дія статичної електрики на людину може проявлятися у вигляді слабкого, помірною чи навіть сильного уколу, який сам по собі не являє небезпеки, але може бути непрямою причиною нещасного випадку внаслідок рефлекторного руху людини до небезпечної зони.

Розряди статичної електрики на землю чи між частинами устаткування можуть бути причиною загорянь та вибухів газо-, паро- і пило-повітряних сумішей.

Захист від атмосферної електрики (блискавкозахист) – комплекс захисних пристроїв, призначених для забезпечення безпеки людей, які працюють з електроустаткуванням, від ураження електричним струмом, дії електричної дуги та електромагнітного поля.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу існуючих рішень ми розробили прототип інтелектуальної системи моніторингу дорожнього руху і динамічного управління живленням.

В процесі розробки автоматизованої системи були розглянуті методи моніторингу дорожнього руху, їх переваги та недоліки. За результатами аналізу були обрані оптимальні методи для вирішення поставленого завдання.

Розробили прототип системи динамічного управління живленням для забезпечення автономності системи моніторингу дорожнього руху. Це дало змогу покращити енергоефективність системи.

Впровадження автономної системи моніторингу дорожнього руху, дасть змогу покращити продуктивність транспортної системи та її безпеку.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
2. Nordback K., Kothuri S., Phillips T., Gorecki C., & Figliozzi, M. Accuracy of Bicycle Counting with Pneumatic Tubes in Oregon, 2016. – 19p.
3. Schumacher S., Brosnan M., Petesch M., Lindsey G. Validation of bicycle counts from pneumatic tube counters in mixed traffic flows, 2015. – 106p.
4. Burnos P., Gajda J. Identification of the spatial impulse response of inductive loop detectors . In International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), pages 1997–2002. IEEE, 2015.
5. Stephen G.R., Oha C., Parkb S.. A method for identifying rear-end collision risks using inductive loop detectors, 2006.
6. Sroka R., Stencel M., Zeglen T., Gajda J., Piwowar P.. Application of inductive loops as wheel detectors, 2015.
7. Sindhu C., Priyanka P., Sharmila V., Sangeetha P.. Intelligent traffic control system for ambulance clearance and stolen vehicle detection, 2016.
8. Rabaey Jan M. Pedram, Massoud. Power aware design methodologies. Springer, 2002.
9. Peterson S., Weinblatt H., Coifman B., Hoekman E., Minge E. D. Loop and lengthbased vehicle classification. In Minnesota Department of Transportation, Research Services, 2012.
10. M. Malanowski, P. Krysik, Maslikowski P., Samczynski, K. Kulpa. A concept of gsmbased passive radar for vehicle traffic monitoring. In Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium (MRRS). IEEE, 2011.

11. Halder A., Bhowmik S.. A review on automatic traffic monitoring system, 2016.
12. Silven O., Heikkila J.. A real-time system for monitoring of cyclists and pedestrians, 2004.
13. <https://basegroup.ru/community/articles/kalmanfilter>.
14. Robert W. Brodersen Mani B. Srivastava, Anantha P. Predictive system shutdown and other architectural techniques for energy efficient programmable computation, 1996.