

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

Покойова (Нікітчук) Інна Юріївна

**Інформаційна модель системи моніторингу
загазованості території міста на основі безпроводних
сенсорних мереж / Information model of monitoring
system of city gas pollution based on the wireless
sensory networks**

спеціальність:123 – Комп'ютерна інженерія
освітньо-професійна програма – Комп'ютерна інженерія

Випускна кваліфікаційна робота

Виконав студент групи КІм-21
І. Ю. Покойова (Нікітчук)

Науковий керівник:
к.т.н., Г.М. Мельник

ТЕРНОПІЛЬ - 2019

РЕЗЮМЕ

Випускна кваліфікаційна робота на тему “Інформаційна модель системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж” на здобуття освітнього ступеня “Магістр” зі спеціальності “Комп’ютерні системи та мережі” написана обсягом 101 сторінки і містить 34 ілюстрації, 3 таблиці, 3 додатки та 52 джерел за переліком посилань.

Метою роботи є побудова інформаційної моделі для аналізу системи моніторингу загазованості території міста та реалізація сенсорного вузла системи на основі розробленої моделі.

Методи досліджень. Для розв’язання поставлених задач у випускній кваліфікаційній роботі використано: теорію інгібіторних мереж Петрі, теорію графів, системного аналізу, методи об’єктно-орієнтованого програмування.

Результати дослідження: структура, алгоритм та інформаційна модель системи моніторингу загазованості території міста на основі інгібіторних мереж Петрі, програмне та апаратне забезпечення сенсорного вузла системи моніторингу загазованості території міста на базі мікроконтролерної платформи.

Результати роботи можуть бути використані для розробки проектів систем моніторингу загазованості території міста у діяльності приватних та державних підприємств із встановлення та обслуговування систем моніторингу загазованості, для наукових досліджень в області новітніх технологій та в навчальному процесі.

Орієнтовні напрямки розвитку досліджень: побудова комплексної системи моніторингу загазованості для “розумного” міста на базі розробленої системи моніторингу; підвищення ефективності проектування системи шляхом використання моделі на основі апарату інгібіторних мереж Петрі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДЕЛЬ, АНАЛІЗ, ЗАГАЗОВАНІСТЬ, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, ІНГІБІТОРНІ МЕРЕЖІ ПЕТРІ.

RESUME

Diploma work: “Information model of monitoring system of city gas pollution based on the wireless sensory networks” to education and qualification of "Master" specialty "Computer systems and networks" written 101 pages volume and contains 34 illustrations, 3 tables, 3 applications, and 52 sources for references.

The purpose of the work is to build an information model for the analysis of the monitoring system of city gas pollution and the implementation of the sensor node of the system based on the developed model.

Research methods. In order to solve the tasks in the master's work we used: inhibitory Petri nets theory, graph theory, system analysis, object-oriented programming methods.

Results of the study: structure, algorithm and information model of the monitoring system of city gas pollution based on inhibitory Petri nets, software and hardware for the sensor node of the monitoring system based on the microcontroller platform.

The results of the work can be used for the development of projects for monitoring the contamination of the city territory in the activities of private and state-owned enterprises for the installation and maintenance of the contamination monitoring systems, for scientific research in the field of new technologies and in the educational process.

Indicative directions of research development: construction of integrated pollution monitoring system for “smart” city on the basis of the developed monitoring system; improving the design efficiency of the system by using a model based on the inhibitor Petri nets apparatus.

KEYWORDS: MODEL, ANALYSIS, GAS POLLUTION, MONITORING SYSTEM, INHIBITORY PETRI NETS.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	8
Вступ.....	9
1 Аналіз основних понять, методів та засобів моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж	12
1.1 Аналіз основних понять та методів моніторингу загазованості території міста	12
1.2 Технології безпроводних сенсорних мереж для побудови системи моніторингу загазованості території міста.....	19
1.3 Аналіз і класифікація існуючих програмних та апаратних засобів моніторингу загазованості міста.....	27
2 Інформаційна модель системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж	38
2.1 Структура та алгоритм функціонування системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж.....	38
2.2 Аналіз методів і засобів побудови інформаційної моделі системи моніторингу загазованості території міста.....	43
2.3 Інформаційна модель системи моніторингу загазованості території міста з використанням апарату інгібіторних мереж Петрі.....	54
3 Програмно-апаратна реалізація вузла системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж.....	65
3.1 Технічні характеристики керуючого контролера сенсорного вузла системи моніторингу	65
3.2 Програмне забезпечення сенсорного вузла системи моніторингу загазованості території міста	70
3.3 Апаратне забезпечення сенсорного вузла системи моніторингу загазованості	78
Висновки	87

Список використаних джерел	89
Додаток А Програмний код розробленого сенсорного вузла	95
Додаток Б Копії публікацій	97
Додаток В Довідка про впровадження результатів випускної кваліфікаційної роботи	101

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

GPIO (General-purpose input/output) – інтерфейс введення/виведення загального призначення

GPS (Global Positioning System) – система глобального позиціонування

LPSRN – (Low Power Short Range Networks) – малопотужні мережі малого радіусу дії

LPWAN (Low Power Wide Area Networks) – малопотужні мережі великого радіусу дії

CN (Cellular Network) – технології, що базуються на застосуванні стандартів стільникових мереж у ліцензійному діапазоні

IoT (Internet of Things) – інтернет речей

NFC (Near Field Communication) – технологія бездротового високочастотного зв'язку малого радіусу дії

BLE (Bluetooth low energy) – Bluetooth з низьким енергоспоживанням

IDE (Integrated Development Environment) – інтегроване середовище розробки

HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) – протокол передачі гіпертексту

UART (universal asynchronous receiver/transmitter) – універсальний асинхронний приймач/передавач

WLAN (Wireless Local Area Network) – бездротова локальна мережа

АСМ – аналіз соціальних мереж

ГДК – гранично допустима концентрація

БСМ – безпроводні сенсорні мережі

СВ – сенсорний вузол

ІМ – інформаційна модель

МП – мережі Петрі

СМО – система масового обслуговування

ІМП – інгібіторні мережі Петрі

ВСТУП

Актуальність теми. Безпроводна або бездротова сенсорна мережа (БСМ) складається з сенсорних вузлів, які щільно розгорнуті, таким чином, що кожен вузол має датчик, процесор, передавач і приймач. Ці вузли є недорогими малопотужними і багатофункціональними пристроями для виконання різних завдань зондування. Сенсорні вузли розгорнуті по всій області для моніторингу певних подій (загазованості, температури і т.п.) в реальних умовах. БСМ в основному працюють у відкритій і некерованій зоні. На сьогодні вони відіграють важливу роль в різних сферах діяльності людини, наприклад, моніторингу загазованості міської території, військовому спостереженні, управлінні виробничими процесами і т.д. [1].

Для реалізації сенсорного вузла системи моніторингу загазованості, надзвичайно важливо визначити основні вимоги до таких вузлів. Аналіз існуючих БСМ дав змогу виокремити такі основні вимоги до їхніх вузлів: забезпечення максимальної тривалості життєвого циклу мережі, функціональність та мініатюрність реалізації. Відповідний сенсорний вузол можливо реалізувати за допомогою сучасних мікроконтролерних систем та давачів з відповідними енергоспоживанням та форм-фактором [2].

Інформаційна модель – формалізована, взаємопов'язана сукупність ідентифікованих та інформаційно визначених параметрів, що відображає не тільки основні властивості об'єктів моделювання, але і найбільш істотні відношення між ними і навколишнім середовищем. Інформаційна модель забезпечує формалізоване представлення використовуваних даних і їх взаємозв'язків. Така модель включає предметний і системний рівні опису. Предметний рівень призводить до побудови предметної інформаційної моделі об'єкта. Системний рівень призводить до побудови інформаційної конструкції як узагальнення даного об'єкта і близьких йому об'єктів в системі навколишнього світу [3].

Інформаційна модель системи зручно описується мережею Петрі. Представлення системи засобами мереж Петрі здійснюється з метою подальшого аналізу цих мереж для отримання важливої інформації про структуру та динаміку модельованого об'єкта. Отримана інформація може бути використана для розробки, оцінки або вдосконалення модельованої системи. Відповідно задачею дослідження є розробка та аналіз інформаційної моделі системи моніторингу загазованості території міста на основі мереж Петрі.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є побудова інформаційної моделі системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж, що дасть змогу детально дослідити процеси, які в ній відбуваються, а також програмно-апаратна реалізація сенсорного вузла.

Завдання дослідження:

- 1) провести аналіз основних понять, методів та засобів моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж;
- 2) розробити структуру й алгоритм функціонування системи моніторингу загазованості території міста;
- 3) побудувати інформаційну модель системи моніторингу загазованості території міста з використанням апарату інгібіторних мереж Петрі;
- 4) розробити програмне забезпечення сенсорного вузла системи моніторингу загазованості території міста;
- 5) здійснити апаратну реалізацію сенсорного вузла системи моніторингу загазованості.

Об'єкт дослідження – модель та засоби моделювання системи моніторингу загазованості території міста.

Предмет дослідження – моделювання системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж.

Методи досліджень. В процесі роботи використано теорію інгібіторних мереж Петрі, теорію масового обслуговування, теорію математичного моделювання, методи об'єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна одержаних результатів. Розроблена інформаційна модель системи моніторингу загазованості території міста, яка ґрунтується на основі інгібіторних мереж Петрі, дає змогу дослідити динаміку системи та дотримується принципів обмеженості, збереженості, безпечності і досяжності.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати роботи можуть бути використані для проектування сенсорних вузлів у діяльності приватних підприємств з розробки та експлуатації безпроводних сенсорних мереж, для наукових досліджень в області новітніх технологій та в навчальному процесі.

Публікації та апробація МР. Результати роботи представлено на II науково-практичній конференції “Інтелектуальні комп’ютерні системи та мережі” та опубліковано в однойменному збірнику Покойова І.Ю., Іваніцький Б.О. С. 35, Покойова І.Ю. С.36.

Впровадження результатів МР. Планується впровадження практичних результатів випускної кваліфікаційної роботи на базі підприємства «Вітрило».

У першому розділі роботи здійснено аналіз основних понять, методів та класифікація існуючих програмних та апаратних засобів моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж.

В другому розділі дипломної роботи розроблено структуру і алгоритм роботи системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж. Побудовано інформаційну модель системи моніторингу загазованості території міста з використанням апарату інгібіторних мереж Петрі.

У третьому розділі описано технічні характеристики керуючого контролера сенсорного вузла системи моніторингу NodeMCU. Розроблено програмне забезпечення та здійснено апаратну реалізацію сенсорного вузла системи моніторингу загазованості території міста.

1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОНЯТЬ, МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ЗАГАЗОВАНOSTІ ТЕРИТОРІЇ МІСТА НА ОСНОВІ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

1.1 Аналіз основних понять та методів моніторингу загазованості території міста

Інтенсивний розвиток автомобільного транспорту в усьому світі після другої світової війни сприяв значному за своїми наслідками забрудненню повітря відпрацьованими газами, особливо небезпечного в міських і промислових центрах, а також на територіях проходження шляхів зі сполученнями. В даний час автомобільний транспорт дедалі більше впливає на формування санітарних умов великих міст і населених пунктів. Небезпека впливу відпрацьованих газів автомобілів збільшується внаслідок того, що шкідливі компоненти цих газів викидаються безпосередньо в атмосферу, яка оточує людей, на заселених територіях, де природний обмін повітря обмежений внаслідок щільної забудови [4].

У країнах з високорозвинутою промисловістю і високим рівнем автомобілізації проблема захисту атмосферного повітря від токсичних викидів зросла до рівня невідкладних соціальних проблем. Автомобільний транспорт поряд з промисловістю є головним винуватцем суттєвого забруднення атмосфери.

Про масштаби і ступені забруднення навколишнього середовища на земній кулі свідчить той факт, що в даний час по дорогах світу рухаються близько 300 млн. автомобілів, які споживають близько 3,5 млрд. кг палива на кожні 100 км пробігу. За теоретичними розрахунками для згоряння 1 кг бензину необхідно 14,6...14,8 кг повітря. Це означає, що в двигуні для згоряння 1 кг палива протягом години витрачається близько 200 л кисню, тобто в середньому приблизно в 2,5 рази більше, ніж протягом доби вдихає людина [5].

При оцінці наслідків забруднення повітря на території різних міст і районів слід враховувати не тільки ступінь промислового розвитку і розвитку

автомобільного транспорту, але також ступінь концентрації промислових підприємств, географічні та кліматичні умови, ступінь інсоляції (освітлення сонячним світлом), а також питання організації руху автомобільного транспорту.

З точки зору масштабу і ступеня шкідливості відпрацьованих газів автомобілів доцільно розглянути стан, що склався в цій галузі в США, де в результаті бурхливого розвитку індивідуального автотранспорту дана проблема набула особливо гострого характеру.

У США при існуючих умовах експлуатації кожен автомобіль протягом року в середньому виділяє 800 кг окису вуглецю, 115 кг вуглеводнів і 38 кг оксидів азоту.

Стан забруднення атмосферного повітря відпрацьованими газами автомобілів в країнах Європи можна проілюструвати на прикладі Бельгії. Площа Бельгії становить 30500 км², населення – 9557000 чол, а кількість зареєстрованих автомобілів – 1673000, в тому числі 1436700 легкових. Загальна протяжність доріг становить близько 54 тис. км. На 1 км доріг припадає 31 автомобіль, на 1 автомобіль – 6 чол і на 1 км² площі – 313 жителів і 55 автомобілів. За аналізований період в Бельгії витрачено 1532342 т бензину і 660000 т дизельного палива. В середньому витрата палива на одного жителя становив близько 230 кг. Якщо концентрація окису вуглецю у відпрацьованих газах в середньому становить 4,43%, то при згорянні в двигуні 1 кг палива виділяється 446 г СО і близько 16 г оксидів азоту. Наведені дані чітко характеризують стан забруднення атмосфери в Бельгії. Незначно відрізняються аналогічні статистичні дані в інших європейських країнах [6].

У загальному забрудненні атмосферного повітря токсичними викидами частка двигунів з іскровим запалюванням становить 96,2%, а частка дизельних двигунів – 3,8%. Відносно мала частка дизельних двигунів в загальному забрудненні пояснюється тим, що викиди цих двигунів характеризуються значно меншою концентрацією токсичних компонентів, а також тим фактом, що частка дизельних автомобілів в загальному автомобільному парку відносно невелика. Однак необхідно враховувати, що їх кількість буде зростати, так як в даний час

спостерігається все більш широке використання дизельних двигунів в якості силових установок для різного виду транспортних засобів.

Відпрацьовані гази не є єдиним джерелом забруднення повітря, пов'язаним з роботою автомобілів. Частка цих газів при цьому становить 65%, а частка газів, що виділяються з картера двигуна – 20%, частка вуглеводнів, що утворюються в карбюраторі, – 9% і в паливному баці – 6%.

Частку моторизації в забрудненні атмосферного повітря в різних режимах не можна визначити однозначно. У різних країнах окремі джерела енергії і галузі господарства здійснюють різний вплив на забруднення атмосфери. Про це свідчать і дані зарубіжних джерел.

Частка відпрацьованих газів автомобілів в забрудненні атмосферного повітря великих міст змінюється в залежності від часу і пропорційна інтенсивності руху транспортних засобів. Мінімальна концентрація шкідливих речовин спостерігається в нічні години, коли їх вміст в повітрі в кілька разів менший, ніж вдень. Максимальна концентрація фіксується в години пік. Атмосфера вулиць самоочищається в результаті провітрювання. При одній і тій самій інтенсивності руху більше забруднення повітря спостерігається в районах, щільно забудованих високими будівлями, і вздовж доріг з вузькою проїзною частиною [7].

Як правило, розрізняють традиційний перелік основних методів контролю вмісту шкідливих речовин в атмосферному повітрі.

Лабораторні методи. До цих методів відносять хроматографію (газову, рідинну, газорідинну), спектроскопію (ІЧ і ІЧ-Фур'є спектроскопія, ЯМР спектроскопія, мас-і хроматомасспектроскопія, УФ-спектроскопія), фотометричні і люмінесцентні методи аналізу. Лабораторні методи є точними, тобто дають змогу реєструвати малі (іноді слідові) кількості шкідливих речовин в повітрі, проте мають ряд недоліків – періодичність, відносна складність і велика тривалість аналізу, що дозволяє їх рекомендувати для науково-дослідних робіт і для контролю результатів застосування інших методів.

Експресні методи. Дані методи відносно прості і сприяють отриманню інформації про загазованість повітряного середовища в короткий проміжок часу (3-20 хв). У той же час по точності експрес методи поступаються лабораторним. Аналіз вмісту шкідливих речовин в повітряному середовищі здійснюють спеціальними приладами – газоаналізаторами різних конструкцій, як спеціалізованими для певних речовин, так і універсальними. Основу експресного аналізу складають фотоколориметричні, спектрофотометричні, термохімічні та термокондуктометричні методи аналізу.

Індикаторні методи (експресні методи з індикаторною трубкою). Як правило, зазначені методи використовуються в комбінації з експресними. Вимірювання довжини пофарбованої частини стовпчика індикаторного порошку, поміщеного в скляну трубку, що змінює свій колір при проникненні через нього повітря з речовиною, яку необхідно визначити, знайшло конструктивне використання в універсальних газоаналізаторах типу УГ (УГ-2, УГ-3, ГХ-4), оснащених індикаторною трубкою. Довжина пофарбованого стовпчика пропорційна концентрації аналізованої речовини в повітрі і визначається за спеціальною шкалою, градуйованою в мг / м³. Використовуючи індикаторні порошки можна визначати фактичну концентрацію шкідливих речовин різних класів (спирти, кислоти, ангідриди, аміни, прості і складні ефіри, алкани, алкени, алкіни, алкадієни, ароматичні і елементоорганічні з'єднання, бензин, хлор, оксиди вуглецю, сірки та азоту). Недоліком експресного методу з індикаторною трубкою є напівкількісний результат визначення загазованості.

Автоматичні методи. Дані методи дозволяють проводити безперервний відбір проб повітря, а прилади, налаштовані на певний рівень загазованості повітря (газоаналізатори, газосигналізатори і газоаналітичні комплекси), при перевищенні цього рівня через систему автоматики (датчики і самописці) подають сигнал на пульт управління для приведення в дію різних запобіжних пристроїв, а також аварійної вентиляції. Автоматичні методи підрозділяють на механічні (що ґрунтуються на залежності щільності газової суміші від концентрації компонента, який визначається), акустичні (засновані на залежності швидкості розподілу або

поглинання звукових хвиль в суміші від концентрації речовини, що визначається), магнітні (засновані на залежності фізичних властивостей суміші в магнітному полі від концентрації компонента, що визначається), оптичні (засновані на залежності оптичних властивостей суміші від концентрації утворюючої її речовини) і теплові (засновані на залежності теплопровідності суміші або теплового ефекту хімічної реакції від концентрації шуканого компонента) [8].

Розглянемо вплив палив і відпрацьованих газів на організм людини. Визначена в результаті досліджень концентрація шкідливих речовин в атмосферному повітрі значно перевищує гранично допустиму концентрацію окремих компонентів. Це свідчить про те, що в багатьох країнах ступінь забруднення повітря є значним і небезпечним для здоров'я жителів.

Допустимі середньодобові величини концентрації токсичних компонентів в атмосферному повітрі на прикладі Польщі, мг / м³:

- оксиди азоту – 0,2;
- бензол – 0,3;
- бензин – 0,5;
- оксиди вуглецю – 1,0;
- свинець і його сполуки – 0,001;
- тетраетилсвинець – 0,0002;
- бензпирен – 0,00005.

Вміст в повітрі свинцю і вуглеводнів з відпрацьованих газів автомобілів відносно невеликий, і тому вони не становлять серйозної небезпеки для рослин. Однак, якщо рослини, які ростуть поблизу доріг з інтенсивним рухом, використовуються для корму тварин, вони можуть бути небезпечні для них [9-10].

Особливо небезпечним для лісів і зелених масивів є двоокис сірки, що руйнує хлорофіл.

Результати сучасних досліджень показують, як змінюється вміст свинцю в рослинах в залежності від їх віддалення від дороги.

В значно меншій мірі вивчено вплив на рослини окисів азоту. Встановлено, що їх безпосередній токсичний вплив на рослини проявляється при допустимих

концентраціях окисів азоту в повітрі в межах 0,5-6 мг / м³. При концентрації, близькій до нижньої межі, токсична дія оксидів азоту виявляється через кілька десятків годин. При концентрації, близькій до верхньої межі, пошкодження рослин з'являються вже після двох години впливу окисів азоту.

Негативні наслідки впливу відпрацьованих газів на ґрунт носять досить обмежений характер. Ґрунтові і поверхневі води в більшій мірі піддаються небезпекам забруднення паливом, маслами і мастилами. Навіть мінімальна кількість цих речовин може сильно змінити якість води і призвести до тяжких наслідків впливу на живі організми. Плівка з вуглеводнів на поверхні води ускладнює процеси окислення, що також негативно впливає на живі організми.

Найбільш радикальні пропозиції подолання всіх перерахованих труднощів – заборона, ліквідація транспорту – звісно, не реальні і не прийнятні. Отже, реальний інший шлях – глибоке вивчення проблеми і максимальне огороження людини від негативного впливу негативних факторів.

В даний час в окремих промислових районах стають відчутними негативні наслідки викиду в атмосферу відпрацьованих газів. Їх вплив буде з часом змінюватися. Він залежить від ефективності заходів спрямованих на зниження токсичності цих газів. Крім того, вже сьогодні є багатий досвід, набутий в боротьбі за чистоту повітря країнами, раніше нас переживших «вибух» автомобілізації [11].

Шкідливий вплив зміни навколишнього середовища міст на людину викликав необхідність прийняття санітарних норм на стан навколишнього середовища міст.

Рівень загазованості атмосферного повітря регламентується нормами гранично допустимої концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів, де в якості граничних значень прийнята концентрація атмосферних забруднень, що не здійснює на людину непрямого шкідливого і неприємного впливу, не знижує її працездатності, що не впливає негативно на її самопочуття і настроїв. Граничні значення поділяються на:

– середньодобові нормативи, мета яких – попередити хронічну дію токсичних речовин при тривалому вдиханні;

– максимальні разові нормативи, час впливу від яких не повинен перевищувати 20 хвилин, які регламентують таке забруднення атмосфери, яке може викликати рефлекторні реакції через подразнення органів дихання, головним чином нюхової області порожнини носа.

Токсичність відпрацьованих газів двигунів можна зменшити шляхом запобігання утворення токсичних компонентів або за допомогою їх нейтралізації.

Встановлювати на двигуні додаткові пристрої для зменшення токсичності відпрацьованих газів слід при крайній необхідності і тільки у випадку, якщо вичерпані всі можливі способи досягнення задовільного складу газів шляхом конструктивних напрацювань і регулювання двигуна. В даний час в більшості автомобілів застосовують різноманітні способи зменшення концентрації токсичних компонентів перед викидом відпрацьованих газів із камери згоряння.

Зменшення вмісту окису азоту у відпрацьованих газах досягається шляхом обмеження максимальних температур згоряння і зменшення кількості палива, що подається або одночасним використанням обох цих способів. Подібні результати можна отримати установкою більш пізнього запалювання, збагачення або значне зменшення суміші, а також шляхом направлення частини відпрацьованих газів назад в циліндр двигуна. Виділення токсичних сполук свинцю і сірки можна зменшити тільки шляхом обмеження їх змісту в паливі або повного їх виключення з нього [12].

У двигунах автомобілів і робочих машин, що працюють в приміщеннях з недостатньою вентиляцією, вже давно використовують різні способи і пристрої для нейтралізації токсичних компонентів у випускній системі. Токсичні викиди можна також значно зменшити за допомогою каталітичного допалювання. Але каталізатори дають хороші результати тільки при багатій суміші.

Суттєвий ефект зниження забруднення повітря міст може бути досягнутий при використанні електричного громадського транспорту. Слід підкреслити, що автотранспорт використовує в якості пального виключно нафтопродукти, в той

час як метрополітен, трамвай і тролейбуси мають електропривід і використовують електроенергію станцій, що працюють на вугіллі, нафті, атомній енергії та ін. Причому ці джерела електроенергії розміщені, як правило, на значній відстані від місця використання електроенергії міським транспортом і місто не забруднюють.

1.2 Технології безпроводних сенсорних мереж для побудови системи моніторингу загазованості території міста

Безпроводна або бездротова сенсорна мережа (БСМ) складається з сенсорних вузлів, які щільно розгорнуті, таким чином, що кожен вузол має датчик, процесор, передавач і приймач. Ці вузли є недорогими малопотужними і багатофункціональними пристроями для виконання різних завдань зондування. Сенсорні вузли розгорнуті по всій області для моніторингу певних подій (загазованості, температури і т.п.) в реальних умовах. БСМ в основному працюють у відкритій і некерованій зоні. В даний час вони відіграють важливу роль в різних сферах людської діяльності, наприклад, моніторингу загазованості міської території, військовому спостереженні, моніторингу лісових пожеж, моніторингу безпеки будівель і управлінні виробничими процесами. Більшості додатків необхідний більш точний процес локалізації для вузлів, щоб отримати їх координати всередині мережі [13].

Ця область досліджень відкриває нові горизонти алгоритмів і методів оптимізації кращої оцінки місця розташування для сенсорних вузлів в різних областях (наприклад, в приміщенні, на вулиці). Фактично, аспекти відстеження цілей і локалізації мають дуже важливе співвідношення всіх наукових публікацій БСМ.

Розглянемо детальніше особливості застосування бездротових сенсорних мереж. Важливість використання БСМ зростає з кожним роком. Це безпосередньо пов'язано зі збільшенням потреби контролю, спостереження, вимірювань і

вирішення багатьох інших задач експлуатації в таких областях як промисловість, медицина, комерція, наука, побут. Найбільш відомими областями застосування БСМ є:

– військова техніка: для застосування у військових цілях потрібні добре оснащені і надійні бездротові датчики, які можуть витримувати особливі умови експлуатації (наприклад, підвищена температура, вологість та ін.) і при цьому мати компактний розмір і конструкцію, яка не привертає уваги противника. Особливу увагу у військовій сфері слід приділяти моніторингу появи несправностей для своєчасного їх усунення. Можливість використання бездротових датчиків у військовій області варіюється від моніторингу транспортних засобів (дружніх або ворожих), до моніторингу можливих загроз і багатьох інших цілей з щільною топологією для збору більш надійних даних;

- медичне устаткування: в даний час бездротові датчики є затребуваними в медицині для спрощення взаємозв'язку між пацієнтом і системою моніторингу. Також є функції, які виконуються за допомогою медичних датчиків, таких як контроль захворювань і введення препаратів. Для поліпшення дистанційного моніторингу життєво важливих показників пацієнта підвищують чутливість датчика;

– екологічні програми: БСМ може бути використана для вимірювання декількох параметрів навколишнього середовища, таких як загазованність, температура, вологість, тиск, інтенсивність світла, і характеристика ґрунту. Вона також використовується для відстеження, контролю за рухом і поведінкою тварин, птахів та інших істот. У більшості випадків сенсорні вузли прикріплені до рухомих істот або щільно розміщені всередині цільового середовища. Деякі функції вимагають контрольованості датчика для управління ним. Екологічні застосування вимагають тривалої автономної роботи з протоколами передачі даних для спостереження і контролю у важкодоступних місцях проживання об'єкта дослідження;

– побутова техніка: активне використання БСМ не могло не почати здійснювати вплив на оточення людини в повсякденному житті. Управління

будинком / оргтехнікою за допомогою пульта дистанційного керування, який дає можливість всередині цільової області змінювати параметри пристроїв шляхом прямого зв'язку між користувачем і пристроями, за допомогою мережі Інтернет або супутникового зв'язку. Для інтерактивності між побутовою технікою і користувачем потрібний штучний інтелект, який за допомогою сенсорних вузлів розвиває свої реакції та адаптується до потреб користувача;

– апаратна архітектура: сенсорні вузли є основою БСМ і на поряд із системами управління, як і інші електричні пристрої, складається з двох основних областей: програмна платформа і апаратна архітектура. Програмна платформа складається в основному з операційної системи, яка управляє сенсорним вузлом. Це пов'язано з процедурами і алгоритмами методів вимірювань, які будуть завантажені в кожен сенсорний вузол [14]. З іншого боку, апаратна архітектура повинна підтримувати процедури вимірювання. Блок-схема архітектури сенсорного вузла представлена на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Апаратна архітектура сенсорного вузла

Кожен бездротовий вузол містить: джерело живлення, датчик, блок обробки, і частину приймача. Розміщення джерела живлення головним чином залежить від протяжності області збору даних. Живлення вважається основним

блоком для датчика, а також живить інші одиниці для виконання своїх функцій. Термін служби сенсорного вузла залежить від його джерела живлення.

Для максимізації продуктивності електроенергії розробляються методи мінімізації швидкості потоку даних між вузлами. Удосконалення використання різних матеріалів, що застосовуються в блоках живлення, врівноважує витрати на продуктивність (наприклад, нікель-кадмієвих, літій-іонний).

Типи датчиків у БСМ визначаються функцією, яка вимірюється сенсорною частиною датчика всередині її вузлів (наприклад, температури, диму, вологості і т.д.). Сенсорна частина всередині вузлів перетворює фізичну подію, необхідну для вимірювання, в значимі дані, які повинні бути оброблені і збережені. Датчики поділяються за типом вихідного сигналу: аналогові і цифрові. Блоки датчиків повинні мати мінімальний розмір і мінімальне споживання енергії.

Блок обробки відповідає за обробку даних, отриманих або переданих прийомопередавачем, а також за управління даними, отриманими сенсорною частиною. Цей об'єкт містить три основних компоненти: аналого-цифровий перетворювач (АЦП), центральний процесор (ЦП) і пам'ять [15].

У деяких системах АЦП вважається частиною сенсорного блоку, але фактично він виконує завдання попередньої обробки, яка полягає в перетворенні сигналу в цифровий формат.

Процесор відповідає за управління функціональністю всередині вузла датчика з декількома формами апаратного і програмного забезпечення: FPGA, ASICs. Процесор може бути замінений в деяких вузлах мікроконтролерами, які досить економні, в споживанні енергії.

Пам'ять зберігання є вхідною / вихідною частиною, яка контролює потік даних, що повинні бути збережені або оброблені. Пам'яттю може бути: оперативний зберігаючий пристрій (ОЗП), який зберігає дані для відправки і не зберігає їх при перезапуску вузла, і постійна пам'ять, постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП), який зберігає операційну систему і основний алгоритм роботи.

Приймач має подвійну функцію: передачі і відправки сигналів між вузлами, вузлом і маяком або вузлом і базою управління. У цій частині використовується в

основному промислово-науковий-медичний (ISM) діапазон частот, який є безкоштовним для користувача додатків і може використовуватися повторно в усьому світі.

Незалежно від використовуваної технології і режиму роботи приймача, робота передавача повинна бути оптимізована для зниження енергоспоживання за рахунок поліпшення апаратного забезпечення або скорочення часу передачі.

Розглянемо основні тенденції розвитку БСМ. Бездротові сенсорні мережі в цілому і область локалізації, зокрема, все ще охоплюють широку область досліджень і розробок, таких як:

- розробка нових методів, які раціоналізують використання GPS, оскільки вона не енергоефективна і коштує дорого для апаратного забезпечення з низькою продуктивністю всередині приміщень (проблеми поширення на лінії прямої видимості);

- мінімізація помилок для підвищення точності оцінки місця розташування сенсорного вузла, що включає використання математичних і геометричних співвідношень і розробку нових методів вимірювання (може бути гібридною методикою між старими методиками). Мобільність сенсорних вузлів в деяких додатках може змінити топологію мережі, що призводить до нової області досліджень, яка може відстежувати зміни і зберігати оцінку місця розташування;

- удосконалення щільності топології мережі для зменшення кількості якорів / маяків, необхідних для оцінки хорошого покриття для всіх інших вузлів датчиків;

- 3D-локалізація як і раніше представляє інтерес для деяких дослідників, оскільки більшість досліджень концентрується на площинах поверхні, які можуть бути неефективні для моделювання в реальному світі;

- нова реалізація устаткування призведе до зменшення вартості при більш високій енергоефективності, особливо для високоточних методів в категорії на основі діапазону, яка також включає збільшення продуктивності (більш тривалий час автономної роботи, більш висока швидкість обробки, більше пам'яті і мінімізація розміру апаратного забезпечення вузла датчика);

– загрози безпеки і атаки підлягають додатковим дослідженням, щоб поліпшити існуючі схеми захисту і розробити більш захищені протоколи з потужними алгоритмами виявлення. На додаток до раніше згаданої області досліджень є багато нових тенденцій і точок зору на проблему локалізації, однією з цих тенденцій є використання аналізу соціальних мереж (АСМ).

АСМ розглядає будь-яку мережу як набір відносин між гравцями (в нашому випадку це сенсорні вузли) і зв'язку (зв'язку між вузлами). Ця область є перспективною і має місце в багатьох дослідженнях не тільки в області електричних комунікацій, вона включає в себе метрики вимірювань між вузлами, які повинні бути доступні з декількома схемами розміщення для додавання вузлів датчиків. АСМ ґрунтується головним чином на графічній теорії, яка дає нові аспекти для ефективної роботи з БСМ.

Застосовують наступні типи бездротових мереж для Інтернету речей:

- Low Power Short Range Networks (LPSRN) - малопотужні мережі малого радіусу дії;
- Low Power Wide Area Networks (LPWAN) - малопотужні мережі великого радіусу дії;
- Cellular Network (CN) - технології, що базуються на застосуванні стандартів стільникових мереж у ліцензійному діапазоні.

Short Range і LPWAN використовують неліцензований спектр частот – ISM Bands. У мережах подібних Short Range використовують стандарт IEEE 802.15.4, який визначає фізичний шар і управління доступом для організації малопотужних персональних мереж, і становить основу для наступних протоколів: WirelessHart, WLAN (Wi-Fi), 6LoWPAN, ZigBee, Bluetooth low energy, NFC і MiWi. У мережах LPWAN застосовують такі основні стандарти і технології – Symphony Link, SigFox, Nwave, Ingenu (RPMA), Weightless, LoRa [16].

Технології, що базуються на мережах мобільного зв'язку і які використовують ліцензовані частотні діапазони, виділяють окремо. Ними є: стандарти eMTC, NB-IoT і EC-GSM-IoT. NB-IoT і eMTC використовують обладнання мереж LTE; EC-GSM-IoT, що розгортається над мережами стандарту

GSM. При цьому технологію NB-IoT відносять до малопотужних мереж великого радіусу дії (LPWAN).

До технологій Short Range (або технологіями «останніх 100 метрів») відносяться такі нормативні документи: IEEE 802.15.4, BLE, IrDA, NFC, WLAN (Wi-Fi) і ряд інших.

Сьогодні пристрої, що працюють за технологією Short Range, як правило, не підключені. Глобальна мережа в значній мірі підключена через смартфони, домашні маршрутизатори (наприклад, ADSL-маршрутизатори) і GSM / 3G / 4G-маршрутизатор.

«Останні 100 метрів» представляють більше 90 % потенціалу, але способи досягнення пов'язаного бачення надзвичайно різноманітні. У цьому просторі конкурують багато різних технологій, в тому числі міжнародні стандарти, стандарти, які застосовуються для конкретної області та безліч запатентованих технологій.

Near field communication (NFC) – це набір протоколів зв'язку, які дозволяють двом електронним пристроям, одним з яких зазвичай є портативний пристрій, такий як смартфон, встановлювати зв'язок, розташовуючи їх на відстані не більше 4 см один від одного.

Пристрої NFC використовуються в системах безконтактних платежів, аналогічних тим, які використовуються в кредитних картах і смарт-картах електронних квитків, і дозволяють мобільним платежам замінювати або доповнювати ці системи. Це іноді згадується як NFC / CTLS (безконтактний) або CTLS NFC.

NFC використовується для соціальних мереж, для обміну контактами, фотографіями, відео або файлами. Пристрої з підтримкою NFC можуть виступати в якості електронних документів, що засвідчують особу, і карток-ключів. NFC пропонує низькошвидкісне з'єднання з простими налаштуваннями, яке можна використовувати для завантаження більш функціональних бездротових з'єднань.

NFC є розширенням стандарту безконтактних карт ISO 14443, який об'єднує інтерфейс смарт-карти і зчитувача в одному пристрої. Крім того, пристрій NFC

може зв'язуватися з існуючими смарт-картами, зчитувачами ISO 14443 та іншими пристроями NFC [17].

Що стосується зв'язку між даною технологією і IoT, існує великий спектр можливого застосування NFC в повсякденному житті. Яскравими прикладами того служать: безконтактна оплата в магазинах, відкривання входних дверей, управління електронними пристроями.

Bluetooth – це стандарт бездротової технології для обміну даними між фіксованими і мобільними пристроями на коротких відстанях з використанням короткохвильових УХЧ – радіохвиль в промислових, наукових і медичних радіодіапазонах, від 2,400 до 2,485 ГГц, і для створення персональних мереж (PAN). Спочатку він був задуманий як бездротова альтернатива кабелям передачі даних RS-232.

Bluetooth Low Energy (BLE) – це технологія бездротової персональної мережі, що розроблена і продається спеціальною групою за інтересами Bluetooth (Bluetooth SIG), призначена для нових додатків в охороні здоров'я, фітнес, індустрії безпеки і домашніх розваг.

У порівнянні з класичним Bluetooth, BLE призначений для забезпечення значно зниженого енергоспоживання і вартості при збереженні аналогічного діапазону зв'язку.

Пристрої, що використовують BLE, витрачають значно менше енергії, ніж Bluetooth-пристрої минулих поколінь. У більшості випадків девайси можуть працювати більше року від однієї батареї типу «таблетка» без підзарядки.

Виходячи з цього, можлива реалізація датчиків, які будуть працювати безперервно (наприклад, датчики загазованості, температури) і сполучаються з іншими пристроями, такими як КПК або стільниковий телефон.

Нова специфікація Bluetooth зменшує розмір кінцевого пристрою і дає можливість підтримки широкого діапазону додатків для зручного використання в галузях охорони здоров'я, охоронних систем і домашніх розваг, фізкультури і спорту, контролю загазованості території міста.

Wi-Fi є технологією для бездротової локальної мережі пристроїв на основі стандартів IEEE 802.11.

Пристрої, які можуть використовувати технології Wi-Fi, включають, серед іншого, настільні комп'ютери і ноутбуки, ігрові приставки, смартфони та планшети, розумні телевізори, принтери, цифрові аудіоплеєри, цифрові камери, автомобілі і дрони. Wi-Fi-сумісні пристрої можуть підключатися до Інтернету через WLAN і бездротову точку доступу.

Така точка доступу має дальність близько 20 метрів в приміщенні і велику дальність на вулиці. Радіус охоплення даної технології може бути як з невелику кімнату, обмежену стінами, блокуючими сигнал, так і десятки квадратних кілометрів за допомогою декількох точок доступу, які перекриваються.

Будь-яка людина в межах досяжності з контролером інтерфейсу бездротової мережі може спробувати отримати доступ до мережі; через це Wi-Fi більш вразливий для атаки (так зване прослуховування), ніж провідні мережі.

Захищений доступ Wi-Fi (WPA) – це сімейство технологій, створених для захисту інформації, що передається по мережах Wi-Fi, і включає рішення для персональних і корпоративних мереж. Функції безпеки WPA включають більш надійні засоби захисту і нові методи забезпечення безпеки, оскільки ландшафт безпеки з часом змінювався.

В рамках технології IoT, Wi-Fi можна застосувати до локальних систем, наприклад, «Розумного будинку», «Розумного міста» для зв'язку різних пристроїв в одну загальну мережу.

1.3 Аналіз і класифікація існуючих програмних та апаратних засобів моніторингу загазованості міста

В даний час існує досить велике різноманіття газоаналізаторів, які різняться за своєю програмно-апаратною реалізацією та принципами роботи.

Фотоколориметричні газоаналізатори. Дія зазначених приладів заснована на кольорових вибіркових реакціях між реактивом-індикатором в розчині, на стрічці або спеціальному порошку і аналізованим компонентом газоповітряної суміші. При цьому мірою концентрації необхідного для визначення компонента є інтенсивність забарвлення виникаючих продуктів реакції. Фотоколориметричні газоаналізатори володіють досить високою чутливістю і вибірковістю, що досягається вибором характерного хімічного реактиву, який використовується для приготування індикаторного засобу.

Перевагою фотоколориметричного методу є можливість створення на його основі універсальних конструкцій, так як один і той же прилад з різними індикаторними розчинами може бути використаний для визначення різних шкідливих речовин. Визначальним при цьому є наявність Фотоколориметричної методики для автоматичного аналізу, що відповідає таким вимогам: стійкість реактивів в часі, мінімальний час утворення пофарбованого з'єднання, чутливість і специфічність реакції, відсутність складних операцій, невелике число реактивів, їх невисока токсичність, пожежо- і вибухонебезпечність, доступність, простота приготування розчинів [18].

За принципом дії фотоколориметричні газоаналізатори поділяють на рідинні, стрічкові і порошкові.

У рідинних газоаналізаторах реакція протікає в розчині, а концентрацію необхідного для визначення компонента вимірюють за світлопоглинанням розчину. Перевагою приладів цього типу є більш висока точність вимірювання і можливість застосування індикаторних розчинів, що містять концентровані кислоти, що важливо для контролю малореакційних при звичайних умовах речовин. Однак у зв'язку з наявністю в них ряду механічних пристроїв, що забезпечують перекачування і дозування рідини і газів, їх конструкція відрізняється порівняною складністю і громіздкістю, що перешкоджає широкому їх впровадженню на практиці.

В автоматичних газоаналізаторах стрічкового типу хімічна реакція протікає на текстильній або паперовій стрічці, просоченій відповідними реагентами

заздалегідь або безпосередньо перед її фотоколориметруванням. Про концентрації необхідної для визначення речовини судять по ослабленню світлового потоку, відбитого від ділянки індикаторної стрічки, яка змінила забарвлення в ході аналізу.

В даний час створено газоаналізатор типу "Сирен", в якому в якості первинного вимірювального перетворювача використовують індикаторний порошок. В основу роботи цього газоаналізатора покладений принцип багаторазового використання забарвлення поверхні індикаторного порошку під дією присутнього в повітрі аналізованого газу або пари хімічної речовини. Ці газоаналізатори надійні в експлуатації, прості у використанні і можуть бути використані в системах автоматичного газового аналізу.

Електрохімічні газоаналізатори.

З електрохімічних методів аналізу для створення автоматичних газоаналізаторів найбільш широко використовують кулонометричний і кондуктометричний методи.

Великі можливості кулонометричних газоаналізаторів дозволяють мати кілька діапазонів вимірювання, що охоплюють концентрації як на рівні гранично допустимої кількості (ГДК) часток в атмосферному повітрі, так і при значних перевищеннях ГДК.

Стаціонарний кулонометричний газоаналізатор "Паладій-М" для автоматичного контролю оксиду вуглецю в повітрі випускається промисловістю в шести виконаннях, що відрізняються за кількістю каналів вимірювання і по захищеності від впливу навколишнього середовища. Цей газоаналізатор застосовують в стаціонарних умовах і в умовах пересувних лабораторій. Принцип дії газоаналізатора заснований на методі потенціостатичної амперометрії, що полягає у вимірюванні струму електрохімічної комірки.

Іонізаційні газоаналізатори.

Іонізаційний спосіб газового аналізу заснований на залежності іонного струму, що виникає в процесі іонізації досліджуваного газу, від вмісту, контрольованого компонента. З відомих способів іонізації газів (іонізація

полум'ям, тліючим розрядом, радіоактивним випромінюванням і опроміненням короткохвильовим світлом) при розробці газоаналізаторів найбільш часто використовують іонізацію полум'ям і радіоактивне випромінювання.

Перевагами іонізаційного методу є низький поріг чутливості, широкий діапазон виміру, достатня надійність і стабільність роботи, швидкодія, можливість створення датчиків для систем газового контролю з уніфікованим електричним сигналом.

Основний недолік полум'яно-іонізаційних газоаналізаторів полягає в їх низькій вибірковості до окремих органічних компонентів при їх сумісній присутності. За допомогою полум'яно-іонізаційного газоаналізатора визначають або їх суму, або концентрацію компонентів з переважаючими іонізаційними ефективностями. Для підвищення специфічності аналізу на цих приладах використовують вибірковий переклад контрольованих компонентів в аерозольну фазу [19].

Хемілюмінесцентні і флуоресцентні газоаналізатори.

Принцип роботи хемілюмінесцентних газоаналізаторів заснований на вимірюванні інтенсивності люмінесценції продуктів хімічної реакції необхідного для визначення компонента з реагентом, а флуоресцентних – на вимірі інтенсивності флуоресценції необхідного компонента під дією УФ-випромінювання.

Лазерні та оптико-акустичні газоаналізатори.

Лазерний газоаналізатор призначений для вимірювання концентрації метану в атмосферному повітрі. Входить до складу пересувних лабораторій для оперативного обстеження трас магістральних і міських газопроводів з метою виявлення витoku газу. Принцип дії газоаналізатора заснований на лазерному прямому абсорбційному методі виміру, який полягає в резонансному поглинанні випромінювання метану на довжині хвилі 3,39 мкм.

Як джерело випромінювання використовують газовий лазер, частота випромінювання якого збігається з частотою резонансного поглинання

випромінювання метаном. Такий збіг забезпечує високу вибірковість і чутливість вимірювання.

Для контролю складу відпрацьованих газів автотранспорту в процесі експлуатації розроблений оптико-акустичний газоаналізатор.

Ультрамикророзподілу оксиду вуглецю (II), що міститься в атмосферному повітрі, також вимірюють спектроабсорбційним методом з використанням смуги поглинання CO в інфрачервоній області спектра 4,66 мкм, де приймачами променевої енергії служать герметичні камери з конденсаторним мікрофоном, заповнені газовою сумішшю з обумовленого газу. Такі газоаналізатори називають оптико-акустичними.

Оптико-акустичний метод ґрунтується на наступному фізичному явищі. Якщо газ, здатний поглинати інфрачервоні промені, помістити в закритий обсяг, і здійснити вплив потоку інфрачервоної енергії, то за деякий проміжок часу газ нагрівається до певної температури, яка визначається умовами теплопередачі. Одночасно збільшується також тиск газу.

Коли потік переривається з певною частотою за допомогою обтюратора, газ в закритому об'ємі періодично нагрівається і охолоджується, виникають коливання температури і тиску газу, які можуть бути сприйняті чутливим елементом газоаналізатора. Датчик присутності газів потрібні для виявлення витіку природних і побутових газів. Датчики реагують на виникнення в повітрі домішок газу. При появі детектируемого горючого газу, провідність датчика зростає з ростом концентрації цього газу. Використовуючи просту електричну схему, можна перетворити провідності датчика в сигнал, пропорційний концентрації газу. Чутливий матеріал датчиків газу серії MQ це високоактивний оксид металу, зазвичай SnO₂. Коли чутлива поверхня датчика нагрівається до певної температури, атоми кисню абсорбуються поверхнею напівпровідника, насиченого електронами.

В наш час досить широко розповсюдження набули давачі-аналізатори газу серії MQ, здатні сприймати горючий газ, природний газ, зріджений нафтовий газ

(LPG), коксовий газ, водень, пари спирту, озон, токсичні гази (дим) оксид вуглецю, аміак NH_3 , бензол, сірководень H_2S , летючі органічні речовини (VOC).

Давачі серії MQ часто застосовуються для:

- вияву витoku газу для будинків;
- різних проекти автоматизації;
- промислових і комерційних будівель;
- охоронно-пожежних система;
- сигналізаторів витoku газу;
- портативних газових детекторів;
- автоматичного вентиляційного обладнання.

Важливими характеристиками даних давачів є:

- висока чутливість;
- малий час відгуку;
- великий термін експлуатації, стабільність характеристик;
- низька вартість;
- проста схема включення.

Датчик газу MQ-2 дає змогу виявляти у навколишньому повітрі наявність вуглеводневих газів (н-бутан, метан, пропан), диму (зважені частинки, що є результатом горіння), водню. За допомогою датчика безпосередньо можна виявляти витoki задимлення і промислового газу [20].



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд датчика газу MQ-2

Аналоговий датчик газу MQ3 дозволяє виявляти наявність парів спирту в повітрі або при диханні, в парфумерії або спиртні напої.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд датчика газу MQ-3

Аналоговий датчик газу (MQ4) для виявлення метану. Цей датчик призначений для визначення концентрації метану (CH_4) в повітрі, парів алкоголю, сигаретного і кухонного диму. А так як цей газ є основним компонентом побутового газу, мати подібний датчик вельми корисно - можна зібрати детектор витoku газу або що-небудь подібне.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд датчика газу MQ-4

MQ-5 датчик для виявлення зрідженого (LPG), природного і коксового газу. Використовується для сигналізації витоків газу в домашніх умовах і на підприємствах. Слабочутливий до випарів алкоголю, сигаретного диму, парів їжі, що готується.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд датчика газу MQ-5

Аналоговий датчик газу MQ6 може бути використаний в побутових і промислових приміщеннях, для виявлення витоків наступних газів: природний газ, вуглеводневий газ, бутан, пропан. Він має високу чутливість і малий час відгуку. Чутливість може бути налаштована за допомогою потенціометра на платі датчика. Даний модуль може бути легко підключений до Arduino-сумісного контролера через плату розширення вводу / виводу.



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд датчика газу MQ-6

MQ-7 аналоговий датчик для виявлення чадного газу (CO) використовується для виявлення CO₂ на заводах, при проведенні підземних робіт, в лабораторних і наукових роботах. Він може виявити CO-концентрацію газу в межах від 20 до 2000 ppm. Чутливість можна регулювати за допомогою потенціометра.



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд датчика газу MQ-7

MQ-8 датчик виявлення водню (H₂) і коксових газів. Простий у використанні сенсор водню (H₂) для визначення наявності його в повітрі.

Модуль можна використовувати для виявлення витоків промислового газу або задимлення. На виході датчика аналоговий сигнал пропорційний вмісту газу. Чутливість може бути налаштована за допомогою резистора.

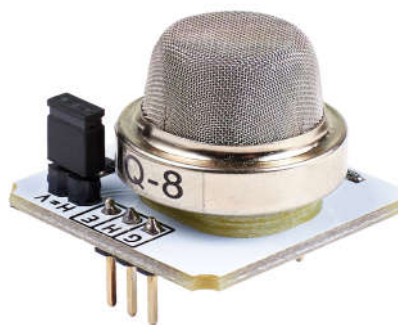


Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд датчика газу MQ-8

MQ-9 комбінований аналоговий датчик газу (CO + CNG або CO + LPG). Датчик газу MQ-9 дозволяє виявляти наявність в навколишньому повітрі вуглеводневих газів (пропан, метан, н-бутан) і чадного газу (CO).



Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд датчика газу MQ-9

Його можна використовувати для виявлення витоків промислового газу, загоряння, несправностей газового обладнання, тощо.

Проведений аналіз дає змогу стверджувати, що транспортний комплекс є найбільшим джерелом забруднення атмосферного повітря у сучасних містах. Багато вітчизняних автомобілів є морально застарілими, тому викиди чадного газу становлять 3-3,5%, триває використання етилованого бензину, що призводить до додаткового забруднення сполуками свинцю, а використання високосірчаного дизельного палива підвищує димність і вміст сірки в газах.

Вирішення екологічних проблем в транспортній галузі – це складний комплекс заходів, що зокрема включає:

- безперервний моніторинг загазованості територій міст;

- створення нових високоекономічних і малотоксичних двигунів;
- використання екологічно чистого палива;
- використання систем нейтралізації відпрацьованих газів;
- максимальний перехід на електротранспорт.

Безпроводна або бездротова сенсорна мережа (БСМ) складається з сенсорних вузлів, які щільно розгорнуті, таким чином, що кожен вузол має датчик, процесор, передавач і приймач. Ці вузли є недорогими малопотужними і багатофункціональними пристроями для виконання різних завдань зондування. Сенсорні вузли розгорнуті по всій області для моніторингу певних подій (загазованості, температури і т.п.) в реальних умовах. БСМ в основному працюють у відкритій і некерованій зоні. На сьогодні вони відіграють важливу роль в різних сферах діяльності людини, наприклад, моніторингу загазованості міської території, військовому спостереженні, управлінні виробничими процесами і т.д..

Інформаційна модель – це формалізована, взаємопов'язана сукупність інформаційно визначених та ідентифікованих, які відображають не лише основні властивості об'єктів, що моделюються, але й найістотніші відношення між ними і навколишнім середовищем. Інформаційна модель здатна забезпечити формалізоване представлення використовуваних даних взаємозв'язків між ними. Така модель включає до свого складу предметний і системний рівні опису. Предметний рівень відображає побудову предметної інформаційної моделі об'єкта. Системний рівень відображає побудову інформаційної конструкції як узагальнення даного об'єкта, а також близьких йому об'єктів у системі навколишнього світу.

Інформаційна модель системи зручно описується мережею Петрі. Представлення системи засобами мереж Петрі здійснюється з метою подальшого аналізу цих мереж для отримання важливої інформації про структуру та динаміку модельованого об'єкта. Отримана інформація може бути використана для розробки, оцінки або вдосконалення модельованої системи. Відповідно задачею

дослідження є розробка та аналіз інформаційної моделі системи моніторингу загазованості території міста на основі мереж Петрі.

Для реалізації сенсорного вузла системи моніторингу загазованості, надзвичайно важливо визначити основні вимоги до таких вузлів. Аналіз існуючих безпроводних сенсорних мереж дав змогу виокремити такі основні вимоги до їхніх вузлів: забезпечення максимальної тривалості життєвого циклу мережі, функціональність та мініатюрність реалізації. Відповідний сенсорний вузол можливо реалізувати за допомогою сучасних мікроконтролерних систем та давачів з відповідними енергоспоживанням та форм-фактором.

В результаті проведеного аналізу було сформульовано основні задачі дослідження, які полягають у побудові й дослідженні інформаційної моделі системи моніторингу загазованості території міста, а також програмно-апаратній реалізації сенсорного вузла системи моніторингу на основі безпроводних сенсорних мереж.

2 ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАГАЗОВАНOSTI ТЕРИТОРІЇ МІСТА НА ОСНОВІ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

2.1 Структура та алгоритм функціонування системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж

Структура системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж представлена у вигляді комп'ютерної мережі, що складається з сенсорних вузлів. До структури системи увійшли такі складові елементи:

- підсистеми давачів – давачі аналізатори загазованості, які зчитують дані з навколишнього середовища (атмосферного повітря) і передають їх на контролер;
- контролер – становить основу сенсорного вузла і призначений для опрацювання даних з підсистеми давачів та взаємодії з комунікаційним блоком;
- комунікаційний блок – блок, що забезпечує функцію безпроводного сенсорного вузла передавати дані про стан загазованості території міста з давачів аналізаторів на віддалений сервер через мережу інтернет;
- сенсорний вузол – сенсорні вузли становлять основу системи моніторингу загазованості території міста на базі безпроводних сенсорних мереж і містять у своєму складі підсистеми давачів, керуючий контролер та комунікаційний блок для передачі даних на віддалений сервер;
- інтернет – блок, що репрезентує середовище передачі даних від сенсорних вузлів на віддалений сервер;
- віддалений сервер – сервер, призначений для отримання даних від сенсорних вузлів через комп'ютерну мережу, зберігання та представлення даних у зрозумілому та зручному вигляді для кінцевого користувача.

Розроблена структура системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж представлена на рисунку 2.1.

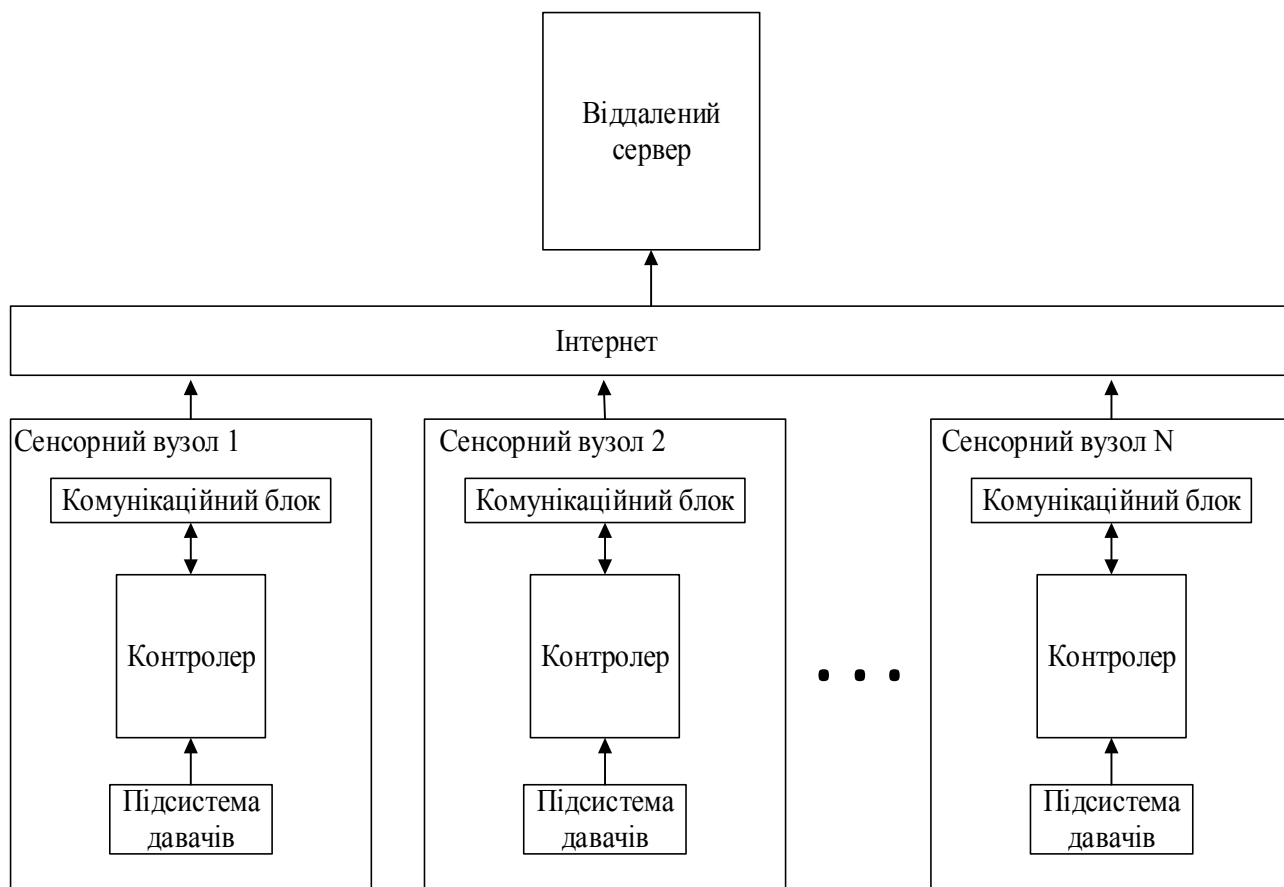


Рисунок 2.1 – Структура системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж

Поняття алгоритму є одним з основних понять обчислювальної математики та інформатики. Алгоритм – це строго визначена послідовність дій для деякого виконавця, яка веде до досягнення поставленої мети або заданого результату за скінченну кількість кроків.

Будь-який алгоритм складається в розрахунку на конкретного виконавця з урахуванням його можливостей. Виконавець – це суб'єкт, здатний виконувати певний набір команд. Сукупність команд, які виконавець може зрозуміти і виконати, називається системою команд виконавця.

Для виконання алгоритму виконавцю недостатньо тільки самого алгоритму. Виконати алгоритм – означає застосувати його до вирішення конкретної задачі, тобто виконати заплановані дії по відношенню до певних вхідних даних. Тому

виконавцю необхідно мати вихідні (вхідні) дані, що задаються до початку алгоритму.

В результаті виконання алгоритму виконавець повинен отримати шуканий результат – вихідні дані, які виконавець видає як результат виконаної роботи. В процесі роботи виконавець може створювати і використовувати дані, які не є вихідними, тобто проміжні дані.

Алгоритм повинен володіти певними властивостями. Найбільш важливі властивості алгоритмів наведені нижче.

Дискретність – процес рішення задачі повинен бути розбитий на послідовність окремих кроків – простих дій, які виконуються одна за одною в певному порядку. Кожен крок називається командою (інструкцією). Тільки після завершення однієї команди можна перейти до виконання наступної.

Скінченність – виконання алгоритму має завершитися за скінченну кількість кроків, при цьому повинен бути отриманий результат.

Зрозумілість – кожна команда алгоритму повинна бути зрозуміла виконавцю. Алгоритм повинен містити тільки ті команди, які входять в систему команд його виконавця.

Визначеність (детермінованість) – кожна команда алгоритму повинна бути точно і однозначно визначена. Також однозначно має бути визначено, яка команда буде виконуватися на наступному кроці. Результат виконання команди не повинен залежати ні від якої додаткової інформації. У виконавця не повинно бути можливості прийняти самостійне рішення (тобто він виконує алгоритм формально, не вникаючи в його зміст). Завдяки цьому будь-який виконавець, який має необхідну систему команд, отримає один і той же результат на підставі одних і тих самих вихідних даних, виконуючи одну і ту ж послідовність команд [21].

Масовість – алгоритм призначений для вирішення не однієї конкретної задачі, а цілого класу задач, який визначається діапазоном можливих вхідних даних.

До основних способів подання алгоритмів, як правило, відносяться такі:

– словесний запис (природною мовою). Алгоритм записується у вигляді послідовності пронумерованих команд, кожна з яких представляє собою довільний виклад дії;

– блок-схема (графічне зображення). Алгоритм представляється за допомогою спеціальних позначень (геометричних фігур) – блоків;

– формальні алгоритмічні мови. Для запису алгоритму використовується спеціальна система позначень (штучна мова, яка називається алгоритмічною мовою);

– псевдокод. Запис алгоритму на основі синтезу алгоритмічної і звичайної мов. Базові структури алгоритму записуються строго за допомогою елементів деякої базової алгоритмічної мови.

Розроблений алгоритм системи моніторингу загазованості складається з наступних кроків:

Крок 1. Активувати сенсорний вузол.

Крок 2. Провести ініціалізацію усього обладнання та налаштування.

Крок 3. Надіслати запит на отримання показів з давачів.

Крок 4. Перевірити отримані покази давачів.

Крок 5. Надіслати перевірені дані з давачів на віддалений сервер.

Крок 5.1. Зберегти дані на сервері.

Крок 5.2. Якщо є запит користувача – відобразити результат.

Крок 6. Перейти в режим очікування на визначений час.

Крок 7. Перевірити умову продовження роботи.

Крок 7а. Перейти до кроку 3.

Крок 7b. Перейти до кроку 8.

Крок 8. Завершити роботу сенсорного вузла.

Блок-схема – це наочний спосіб представлення алгоритму. Блок-схема відображається у вигляді послідовності пов'язаних між собою функціональних блоків, кожен з яких відповідає виконанню одного або декількох дій. Певному типу дії відповідає деяка геометрична фігура блоку. Лінії, що з'єднують блоки,

визначають черговість виконання дій. За замовчуванням блоки з'єднуються зверху вниз і зліва направо. Якщо послідовність виконання блоків повинна бути іншою, використовуються спрямовані лінії (стрілки) [22].

Детальна блок-схема вищенаведеного алгоритму системи моніторингу показана на рисунку 2.2.

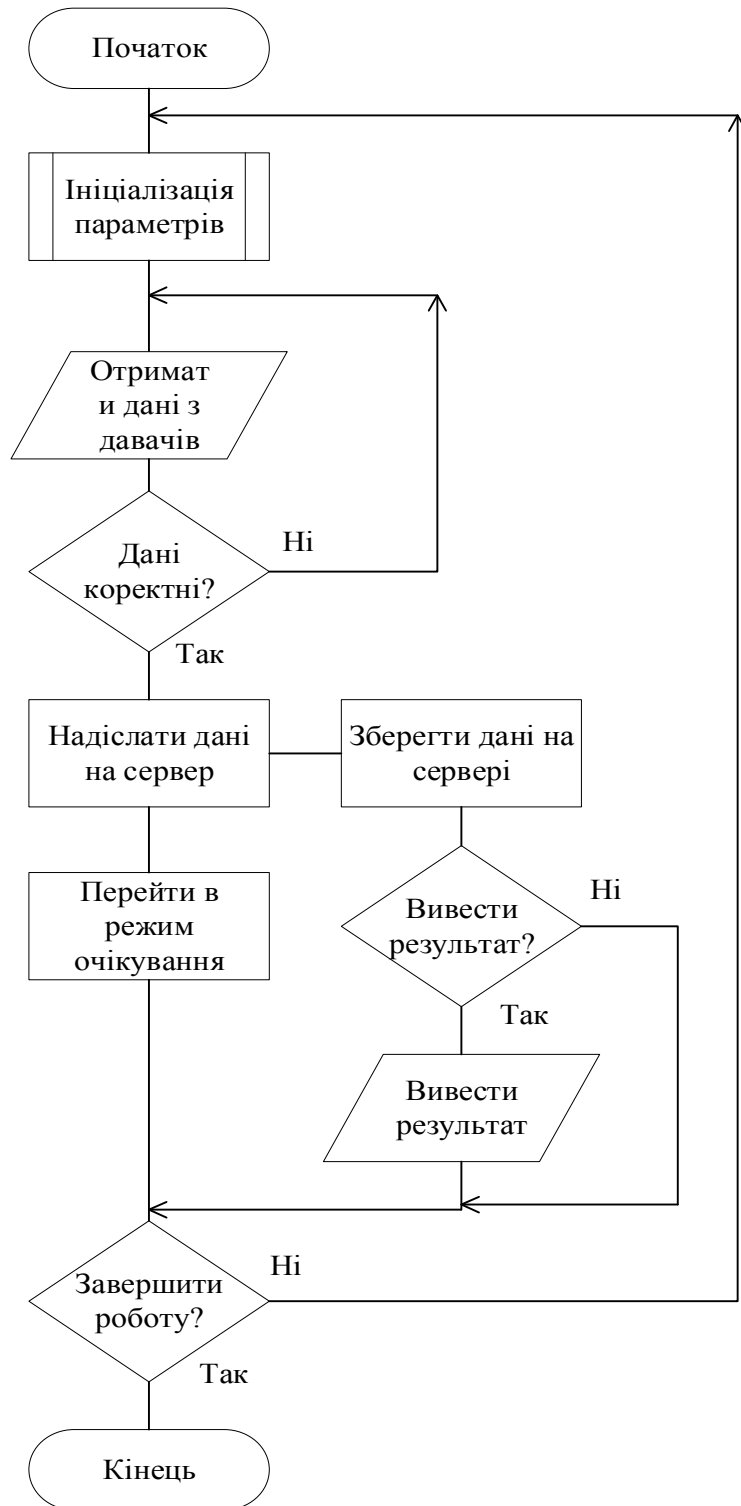


Рисунок 2.2 – Блок-схема алгоритму системи моніторингу загазованості

Розроблені структура, алгоритм і побудована блок-схема алгоритму системи загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж детально описують усі основні складові елементи системи, а також принципи та етапи її функціонування.

2.2 Аналіз методів і засобів побудови інформаційної моделі системи моніторингу загазованості території міста

Систему моніторингу загазованості території міста можна репрезентувати у поняттях такої системи, функціонування якої загалом можливо описати сукупністю певних станів, які модифікуються через здійснення подій, тобто як складну дискретну систему.

Безперервне зростання складності дискретних систем призводить до появи серйозних проблем під час тестування і налаштування, а це, у свою чергу, може стати причиною зниження надійності, продуктивності та інших експлуатаційних характеристик.

Відповідно актуальними залишаються питання щодо подальшого розвитку деяких формальних засобів, які забезпечують змогу адекватно описати і дослідити згадані системи у вигляді моделей. Рушійною силою у розвитку формальних засобів виступає суперечливість вимог, які до цих засобів пред'являються. З одного боку, ці формальні засоби мають допускати досить високий степінь абстрагування від властивостей об'єкта, що є другорядними, з метою спростити роботу з моделлю. З іншого ж боку, вони мають володіти достатньою потужністю, забезпечувати адекватність репрезентування властивостей та аспектів системи, що визначені як істотні на етапах розробки чи оцінки [23].

У сучасних формальних засобах, окрім опису станів і архітектури системи, також повинна бути включені операційна семантика, яка задає правила поведінки її компонентів. Виходячи такої, в певній мірі, суперечливості вимог до

формального опису, високий ступінь адекватності може бути досягнутий, лише в тому випадку, коли для кожного конкретного випадку непосредньо створювати семантичні правила, які враховуватимуть всі вимоги вимоги, що пред'являються до моделі, а також особливості системи, що моделюється.

Формальні засоби, які призначені для побудови моделей послідовних систем є досить добре вивченими. Зокрема, теорія кінцевих автоматів та подальший розвиток даної теорії у так званій теорії агрегативних систем дозволяють дуже вичерпно описувати моделі систем, що є детермінованими, функціонування таких систем загалом можна задати у вигляді якогось єдиного процесу. Стохастичні моделі системи аналогічного типу також добре представлені теорією масового обслуговування. Проте для адекватного репрезентування паралельних чи розподілених систем, семантичні правила формального опису мають враховувати суттєво більший обсяг інформації про організацію обрахунків. Досить корисними виявляються дані про те, які саме процеси відбуваються незалежно, у випадку коли потрібно враховувати причинно-наслідкові відношення чт здійснювати вибір між якимись альтернативними варіантами. В такому випадку семантика має певною мірою композиційний характер, тобто дозволяє будувати глобальну модель системи через визначення взаємозв'язків між локальними моделями її компонентів [24].

На сьогоднішній день найрозвиненішим і найрозробленішим інструментом формального опису паралельних та розподілених систем виступають мережі Петрі. Даний засіб викликає увагу і теоретиків, і практичних користувачів. За приблизно сорок років свого розвитку мережі Петрі здобули непогану семантику, яка досить коректно може відображати природні характеристики їхньої паралельності. Проте простота мереж Петрі, що служить однією з причин їхньої популярності, призводить до обмеження для адекватного репрезентування дуже складних систем. У разі необхідності детального опису структуру стану системи, або, коли послідовність кроків не може бути зведена до простої причинної залежності чи конфлікту, в такому разі мережі Петрі у більшості випадків можуть втрачати адекватність.

Перелічені вище обмеження слугували однією з причин наступного вдосконалення паралельних засобів формального опису, які покликані розширити початкові можливості мереж Петрі.

Системи масового обслуговування для дослідження роботи системи моніторингу загазованості.

Дослідження складних дискретних систем включає побудову деяких абстрактних математичних моделей, репрезентованих засобами мови математичних відношень в доступних термінах якоїсь математичної теорії, що дозволяє отримати функціональні залежності характеристик досліджуваної системи від визначених параметрів. Дослідження процесів, які проходять у дискретних системах зі стохастичним характером функціонування, здійснюється у рамках теорії масового обслуговування та теорії випадкових процесів. При цьому дуже велика кількість моделей реальних систем розробляється на основі моделей масового обслуговування, що поділяються на базові моделі у вигляді систем масового обслуговування і мережеві моделі у вигляді мереж масового обслуговування, які репрезентують математичні об'єкти, що можуть описуватися в термінології конкретного математичного апарату [25].

Для щоб здійснити опис одного й того самого поняття численні літературні джерела, присвячені моделям і методам теорії масового обслуговування, досить часто використовують абсолютно різну термінологію. Теорія масового обслуговування дуже часто називається «теорією черг» (у англійській літературі Queue Theorie), окрім терміну «прилад обслуговування» зустрічаються терміни «канал», «пристрій», «лінія» і т. д.. Зазвичай це викликано конкретною прикладною областю, у якій здійснюється моделювання згаданими методами.

Система масового обслуговування – це математичний (або абстрактний) об'єкт, що містить один або декілька приладів Π (Каналів), які обслуговують заявки Z , що надходять в систему, і накопичувач H , в якому знаходяться заявки, що утворюють чергу \mathcal{C} , і які очікують обслуговування (рис.2.3).

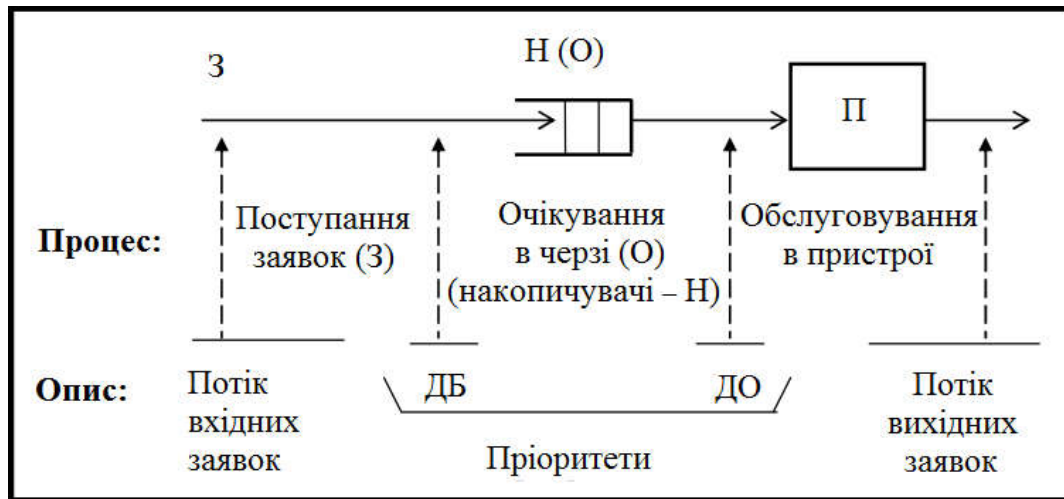


Рисунок 2.3 – Система масового обслуговування

Заявка (виклик, клієнт, вимога, запит) – це об’єкт, який поступає у СМО і вимагає обслуговування у приладі обслуговування. Сукупність заявок, що розподілені в часі, представляють потік заявок.

Прилад обслуговування (також обслуговуючий прилад) або просто прилад (канал, пристрій, лінія) – це елемент системи масового обслуговування, головною функцією якого є обслуговування заявок. В кожен момент часу в приладі обслуговування на опрацювання може перебувати лише одна заявка.

Обслуговування – це затримання заявки на певний час у приладі обслуговування.

Тривалість обслуговування – це час обслуговування (затримки) заявки у обслуговуючому приладі.

Накопичувач (буфер) – це сукупність місць, де заявки перебувають у стані очікування перед початком обслуговування їх обслуговуючим приладом. Кількість місць для очікування визначається конкретною ємністю накопичувача.

Заявки, які надходять на вхід системи масового обслуговування, можуть перебувати у двох станах:

- у стані обслуговування (в приладі);
- у стані очікування (в накопичувачі), якщо всі наявні в системі прилади зайняті у поточний момент обслуговування інших заявок.

Заявки, які знаходяться у накопичувачі та очікують на обслуговування, представляють собою чергу заявок. Довжина черги визначається кількістю заявок, які очікують на обслуговування в накопичувачі.

Дисципліна буферизації – це набір правил порядку поступання заявок в накопичувач (буфер).

Дисципліна обслуговування – це правило вибору заявок із сформованої черги для обслуговування їх у обслуговуючому приладі.

Пріоритет – це переважне право на занесення (в накопичувач) або вибір з черги (для обслуговування в приладі) заявок конкретного класу по відношенню до заявок інших класів.

Таким чином, система масового обслуговування включає в себе:

- заявки, які проходять через систему та формують потоки заявок;
- черги заявок, які формуються у накопичувачах;
- прилади обслуговування.

Існує величезне різноманіття систем масового обслуговування, які відрізняються структурою і функціональністю своєї організації. Проте водночас, розроблення аналітичних методів обчислення властивостей функціонування систем масового обслуговування у багатьох випадках передбачає присутність деяких припущень, які обмежують множину досліджуваних систем масового обслуговування [26].

Мережі Петрі для дослідження динаміки функціонування систем.

В загальному випадку, мережа Петрі – це дводольний орієнтований граф

$$N = \langle P, T, * \rangle,$$

де $P = \{p_i\}$, $T = \{t_i\}$ – кінцеві непусті множини, які складають вершини, що мають назви відповідно позиції та переходи;

* – це відношення між вершинами, яке відповідає деяким дугам графа.

Як правило, позиції зображують кругами, в той час як переходи – здебільшого вертикальними рисками. Дуги сполучають між собою позиції з переходами і переходи з позиціями, але виключно однотипні вершини.

Маркуванням мережі Петрі прийнято вважати функцію Φ , що ставить у відповідність ціле невід'ємне число у кожній позиції. Маркування можна описати за допомогою вектора

$$\Phi = \langle \Phi(p_1), \dots, \Phi(p_n) \rangle,$$

де n – це кількість позицій мережі Петрі.

Якщо звернутися до графічного зображення, то маркуванню Φ буде відповідати розміщення маркерів (точок, міток, фішок) у позиціях мережі Петрі. Кількість міток в позиції p_i , при цьому, дорівнює $\Phi(p_i)$.

Стани відповідної мережі Петрі динамічної системи характеризуються різними її маркуваннями, причому динаміка станів, зазвичай, моделюється переміщенням маркерів між позиціями. Маркування мережі Петрі може постійно змінюватися у випадку, коли спрацьовують її переходи.

Якщо кожна з вхідних позицій деякого переходу t_j містить хоча б один маркер, то перехід t_j – може спрацювати, тобто він є активований. При спрацьовуванні переходу, з усіх його позицій прибирається одна мітка, а в кожен вихідну позицію по відношенню до цього переходу додається одна нова мітка.

Як правило, у мережах Петрі припускається, що якщо при тому самому маркуванні мережі активовано (збуджено) декілька переходів, то може спрацювати будь-який, але лише один з них. Дане обмеження не є принциповим, тому за необхідності його можна зняти.

Використання мереж Петрі з метою керування, кожній позиції позиції співставляється певна дія (операція), а кожному переходу – певна умова, за присутності виконанні котрої, збуджений перехід спрацює, активізувавши таким чином відповідні операції.

Потрапляння маркерів у позицію, при цьому, асоціюється із початком деякої операції, а видалення маркера – із завершенням цієї операції. Використання даного припущення дає змогу вважати, що будь-яка операція не може розпочатися повторно до свого завершення.

Щоб описувати такі процеси часто використовують лише безпечні мережі Петрі. Безпечними вважаються мережі, в котрих у кожній позиції не може бути більше одного маркера при будь-якому маркуванні мережі Петрі.

Проходження будь-якого дискретного процесу повинне забезпечувати можливість його відновлення, а будь-яка операція з множини заданих, повинна бути обов'язково виконана, тому в таких випадках мережа Петрі повинна бути живою, тобто вона не повинна генерувати такі розмітки, для яких інші розмітки є недосяжними.

Живі та безпечні мережі Петрі прийнято називати правильними мережами. У відповідності до цього, у якості моделі дискретних процесів запропоновано використовувати саме правильні мережі Петрі. Варто відзначити, що при цьому перевірка мережі Петрі на правильність є досить трудомісткою задачею. На рисунку 2.4 представлена правильна мережа Петрі, а на рисунку 2.5 – показано граф досяжних маркувань, який відповідає правильній мережі [27].

Однією із серйозних переваг, притаманних мережам Петрі є присутня можливість відображення взаємодії кількох процесів, що є паралельно-послідовними, у вигляді однієї компоненти, проте недоліком є те, що МП в явному вигляді не описують поведінку, тобто динаміку зміни станів.

В деякому сенсі можливо провести аналогію між мережами Петрі та містковими контактними схемами. Опис структури для яких відрізняється від опису їхньої поведінки.

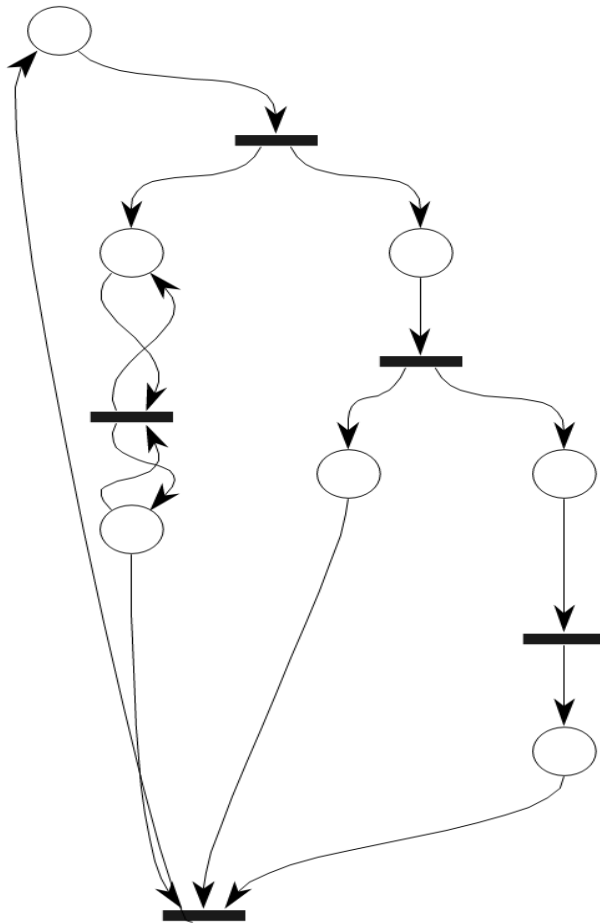


Рисунок 2.4 – Правильна мережа Петрі

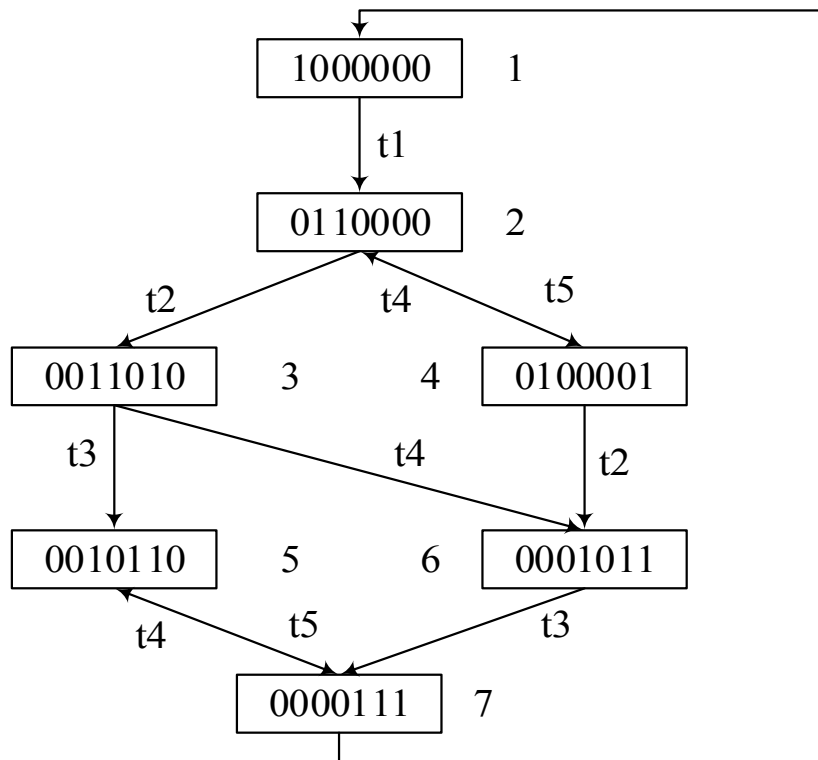


Рисунок 2.5 – Граф досяжних маркувань правильної мережі Петрі

Той факт, що доводиться паралельно стежити за положенням кількох точок і пам'ятати ці ситуації представляє усю складність аналізу поведінки мереж Петрі. У явному вигляді поведінку мереж Петрі можливо описати завдяки графу досяжності маркувань, що в певному сенсі є аналогічним до еквівалентної паралельно-послідовної схеми (П-схема), яка побудована за заданою містковою схемою. До основної переваги П-схем, яка визначила широке їх застосування, варто віднести факт, що полягає в тому, що кожену схему, а точніше її структуру й поведінку можливо описати однією і тією ж булевою формулою. Це дає змогу виконати формальні її перетворення для того, щоб спростити структуру не змінюючи її поведінки [28].

Модифікації мереж Петрі.

Найпростішим прикладом мережі Петрі може бути ординарна мережа. Ординарні мережі були історично першими і є найбільш простими: кратність дуг в ординарній Мережі Петрі повинна бути не більше одиниці, це означає, що між вузлами даної мережі може існувати тільки один зв'язок. Ординарні мережі можуть бути ускладнені за допомогою збільшення кількості дуг між вузлами мережі і кількості міток в позиціях, таке ускладнення дозволить моделювати не тільки функціонування паралельних систем, але і динаміку обсягів ресурсів. Дане ускладнення мереж розширює можливості опису систем, але змушує вдаватися до різних штучних побудов при реалізації взаємодіючих процесів.

Для підвищення зручності моделювання і розширення області застосування мережі Петрі можуть бути додатково ускладнені. У часових мережах кожному переходу t_i зіставляється час T_i . Якщо перехід спрацьовує, то мітки з вхідної позиції видаляються, а переміщення міток у вихідні позиції відбувається через час T_i .

Кольорові мережі Петрі є природною інтерпретацією реальних систем, аналогічних мереж з чергами. Однак мережі з чергами не допускають подання ефектів розмноження і синхронізації, що відображаються за допомогою переходів в мережах Петрі. Міткам кольорової мережі Петрі приписують атрибути, які

називають кольорами. Правила збудження переходів доповнюється такими умовами, які передбачають вибір міток певних кольорів з позицій. Спрацювання переходів супроводжується посилкою в позиції міток з заданими значеннями кольору.

Інгібіторна мережа Петрі – це мережа, в яку додані інгібіторні дуги, що забороняють спрацювання переходів. Ці дуги пов'язують тільки позиції з переходами і зображуються на рисунках такими, що закінчуються не стрілками, а маленькими кружечками. Перехід t в інгібіторній мережі Петрі може спрацювати, якщо кожна його вхідна позиція, поєднана з переходом звичайною дугою з кратністю $w(p, t)$ містить не менше $w(p, t)$ фішок, а кожна вхідна позиція, поєднана з переходом t інгібіторною дугою (її кратність завжди дорівнює 1), має нульову розмітку.

Також існують пріоритетні мережі Петрі. При функціонуванні мереж Петрі може виникнути наступна неоднозначність: при одночасному порушенні кількох переходів може спрацювати будь-якої з них. У реальних системах мають місце ситуації, коли важливий порядок спрацювання пристроїв – тобто один пристрій має пріоритет перед іншими. Ці ситуації не моделюються в звичайних мережах Петрі в силу прийнятого в них правила спрацювання декількох готових до спрацювання переходів. Цю проблему можна вирішити за допомогою інгібіторних мереж Петрі. У пріоритетних мережах вводять пріоритети спрацювання переходів – кожному переходу призначають пріоритет і при одночасному порушенні кількох переходів спрацює той перехід, пріоритет якого є вищим.

Ієрархічна мережа Петрі є узагальненням ординарних (регулярних) мереж і служать для моделювання ієрархічних систем, які поряд з неподільними компонентами містять складові компоненти, які самі представляють собою системи. У таких мережах клас символів переходів розбивається на два непересічних підкласи – термінальні і нетермінальні символи, а клас переходів – на прості і складені. Термінальні переходи і прості переходи виконуються, так само як і в звичайних мережах. Нетермінальні символи позначають елементарну

мережу, що складається з єдиного складеного переходу з вхідною і вихідною позиціями, який і є по суті самостійною, можливо також ієрархічною, мережею.

Стохастичні та нечіткі мережі Петрі. Перед розглядом нечітких мереж Петрі необхідно визначити стохастичні мережі. У стохастичній мережі Петрі відображення $\mu: p \rightarrow N$, яке присвоює кожній позиції P_i певну кількість фішок $\mu(P_i)$, замінюється іншим. Для цього потрібно ввести множину векторів V_s з компонентами, значення яких належать інтервалу $[0,1]$, і сума компонент кожного вектора дорівнює одиниці.

Елементи множини V_s визначають розподіл ймовірності наявності фішок в позиціях мережі, при цьому номер компоненти відповідає кількості фішок, а саме значення компоненти рівне ймовірності знаходження цієї кількості фішок в позиції.

Стохастичною мережею Петрі називається пара $M_s = (C, \mu_s)$, де $C = (P, T, I, O)$ описує структуру мережі, а відображення $\mu_s: p \rightarrow V_s$ призначає кожній позиції вектор розподілу ймовірностей наявності фішок $\mu_s(P_i)$. Тепер визначимо нечіткі мережі Петрі, спираючись на знання про стохастичні мережі. Введемо R – підмножину цілих додатніх чисел, включаючи нуль.

Визначимо на R нечітку множину $u = \{ \}$, r належить R , а функція приналежності $\mu: R \rightarrow [0,1]$. Значення $\mu(r)$ називається ступенем приналежності елемента r до нечіткої множини u . Далі введемо множину V_f , елементи якої – вектори типу u визначають розподіл ступенів належності фішок до позицій мережі Петрі. Виходячи з цього вірне наступне визначення: нечіткою мережею Петрі називається пара $M_f = (C, \mu_f)$, де $C = (P, T, I, O)$ описує структуру мережі, а відображення $\mu_f: p \rightarrow V_f$ призначає кожній позиції вектор розподілу ступенів належності фішок до позиції $\mu_f(P_i)$.

Модифіковані нечіткі мережі Петрі. Для розширення виразної потужності мереж Петрі об'єднаємо декілька модифікацій і введемо поняття модифікованої нечіткої мережі Петрі.

Модифікованою нечіткою мережею Петрі називається мережа Петрі, розширена властивостями кольорових, інгібіторних, пріоритетних і нечітких мереж Петрі [29-33].

2.3 Інформаційна модель системи моніторингу загазованості території міста з використанням апарату інгібіторних мереж Петрі

Один з перших етапів на шляху розробки системи є побудова моделі і дослідження параметрів проєктованого об'єкта на системному рівні. До особливостей даного рівня слід віднести використання структурних моделей, які часто ґрунтуються на роботі теорії мереж Петрі, систем масового обслуговування та ін. [34].

Мережа Петрі може бути представлена орієнтованим графом, який включає вершини (або позиції), які визначають деякі умови, присутні в системі, і переходи, що репрезентують операції, пов'язані з цими умовами [35].

В загальному випадку, модель, що ґрунтується на основі мереж Петрі можна подати у вигляді простого виразу (2.1):

$$N = \{S, T, F, M_0\}, \quad (2.1)$$

де $S = \{S_1, S_2, \dots, S_a\}$ – множина позицій (станів);

$T = \{T_1, T_2, \dots, T_b\}$ – множина переходів;

F – множина дуг, яка включає дві підмножини вхідних $F_{input} = \{F_{input_1}, F_{input_2}, \dots, F_{input_l}\}$ та вихідних $F_{output} = \{F_{output_1}, F_{output_2}, \dots, F_{output_m}\}$ дуг по відношенню до переходу;

M_0 – множина, яка задає початкове маркування мережі Петрі;

a, b – кількість позицій і переходів;

$l + m = n$ – кількість дуг.

Мережі Петрі функціонують безперервно у часі. Динаміка функціонування визначається правилами спрацьовування переходів. Зміна стану мережі пов'язана з механізмом зміни маркувань позицій. У випадку простої мережі Петрі:

- спрацьовує тільки активний перехід, тобто такий, у всіх вхідних позиціях якого є мітки;
- спрацьовування переходу настає після його активації, причому якщо виникає конфлікт – одночасна активація кількох переходів, що мають спільні вхідні вершини, то спрацьовує рівноймовірно тільки один з конфліктних переходів;
- в результаті спрацьовування переходу кількість міток в кожній вхідній позиції зменшуються на одиницю, а кількість міток у всіх вихідних позиціях збільшується на одиницю.

Приклад моделювання елементарного циклу обслуговування за допомогою засобів простих мереж Петрі представлено на рис. 2.6.

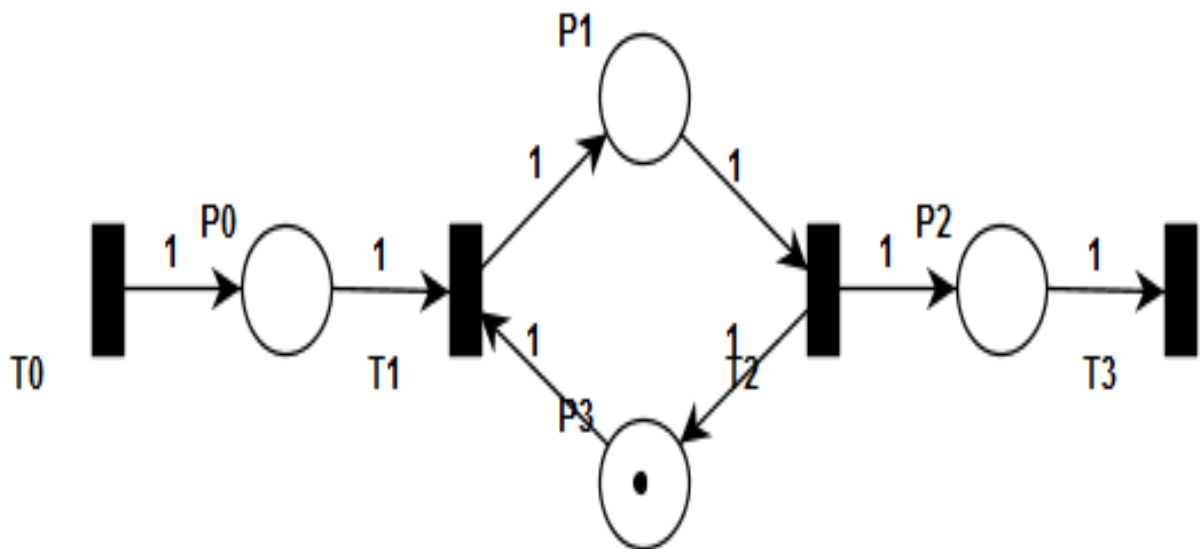


Рисунок 2.6 – Черга на обробку даних системою на основі простих мереж Петрі

Особливою різновидом мереж Петрі є інгібіторні мережі, які на додаток до звичайних дуг графа мережі містять “забороняючі”, так звані інгібіторні дуги.

Така дуга забороняє активацію переходу при наявності достатньої кількості міток у вхідних вершинах звичайних дуг до тих пір, поки в її вхідній вершині є мітки.

Модель на основі інгібіторних мереж Петрі також підпадає під опис загальним виразом (2.1), за тією лиш відмінністю, що інгібіторна мережа включає додаткову підмножину дуг.

Дану підмножину становлять інгібіторні дуги по відношенню до кожного переходу (2.2):

$$F_{ing} = \{F_{ing_1}, F_{ing_2}, \dots, F_{ing_k}\} \quad (2.2)$$

Відповідно загальна кількість всіх дуг інгібіторної мережі Петрі може бути представлена виразом (2.3):

$$l + m + k = n, \quad (2.3)$$

де l – кількість вхідних дуг;
 m – кількість вихідних дуг;
 k – кількість інгібіторних дуг мережі.

У фрагменті мережі Петрі, наведеному на рис. 2.7, дуга забороняє спрацювання переходу $T0$ при наявності мітки в позиції $P0$. Приклад реалізації найпростішого циклу обслуговування з використанням інгібіторної мережі Петрі представлений на рис. 2.8. Тут перехід $T1$ при наявності мітки в позиції $P1$ буде “заборонений” не дивлячись на наявність мітки в вершині $P0$ до тих пір, поки мітка не покине $P1$ через перехід $T2$, що еквівалентно до завершення обслуговування за чергою [36].

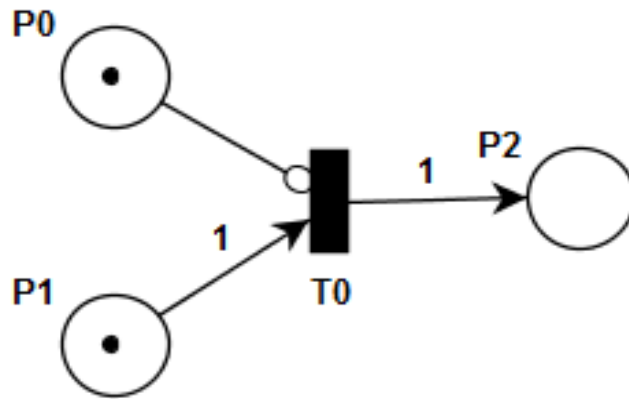


Рисунок 2.7 – Фрагмент мережі Петрі з інгібіторною дугою

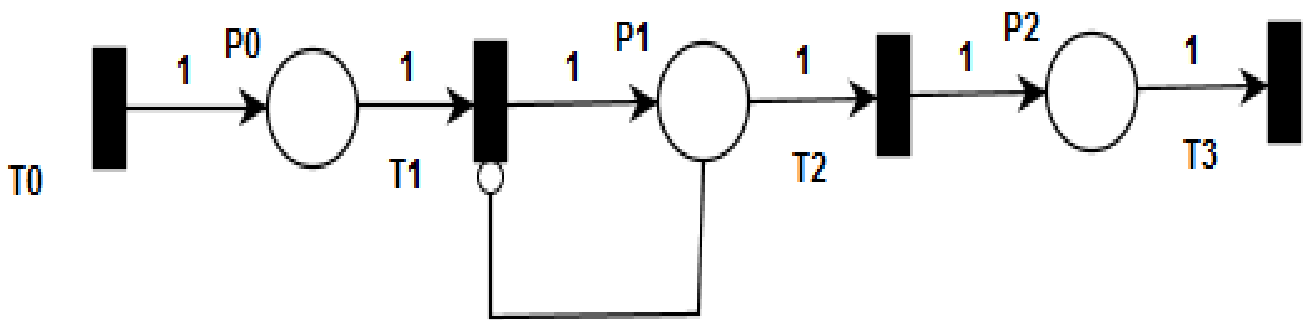


Рисунок 2.8 – Черга на опрацювання даних автоматизованою системою на основі інгібіторних мереж Петрі

Як видно з вище представлених прикладів, використання інгібіторних мереж Петрі навіть для моделювання досить простих обчислювальних процесів дає змогу зменшити кількість елементів, необхідних для побудови мережі. Зокрема проста мережа Петрі містить 16 елементів:

- 4 позиції;
- 4 переходи;
- 8 дуг.

В той час, коли інгібіторна мережа містить 14 елементів:

- 3 позиції;
- 4 переходи;

– 7 дуг.

При чому функціональні можливості обох мереж еквівалентні.

Використання інгібіторних мереж для побудови інформаційної моделі системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж дає змогу суттєво зменшити кількість елементів мереж, а як наслідок спростити та зробити ефективнішим весь процес розроблення та дослідження моделі.

Інформаційна модель системи моніторингу загазованості території міста на основі інгібіторних мереж Петрі наведена на рис. 2.9.

Побудована модель відтворює процеси поступання даних від підсистем давачів до сенсорних вузлів, обробку їх контролером та надсилання опрацьованих даних на віддалений сервер.

Деталізований опис позицій, переходів мережі та їх призначення наведені у табл. 2.1, табл. 2.2.

Графи досяжності станів мережі Петрі для часткових випадків моделювання представлено на рис. 2.10, 2.11.

Модель системи загазованості відображає усі основні складові елементи системи, взаємодію між ними та описує рух даних в системі моніторингу загазованості, і описується виразом (2.4) [37].

$$N = \{P, T, F, M_0\}, \quad (2.4)$$

де $P = \{P_0, P_1, \dots, P_{10}\}$ – множина позицій;

$T = \{T_0, T_1, \dots, T_9\}$ – множина переходів;

$F = \{F_{input}, F_{output}, F_{ing}\}$ – множина дуг, яка складається з трьох підмножин;

$F_{input} = \{F_{input_1}, F_{input_2}, \dots, F_{input_8}\}$ – вхідних дуг;

$F_{output} = \{F_{output_1}, F_{output_2}, \dots, F_{output_10}\}$ – вихідних дуг;

$F_{ing} = \{F_{ing_1}, F_{ing_2}, F_{ing_3}\}$ – інгібіторних дуг по відношенню до кожного переходу;

$M_0 = \{1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$ – множина, яка задає початкове маркування мережі Петрі.

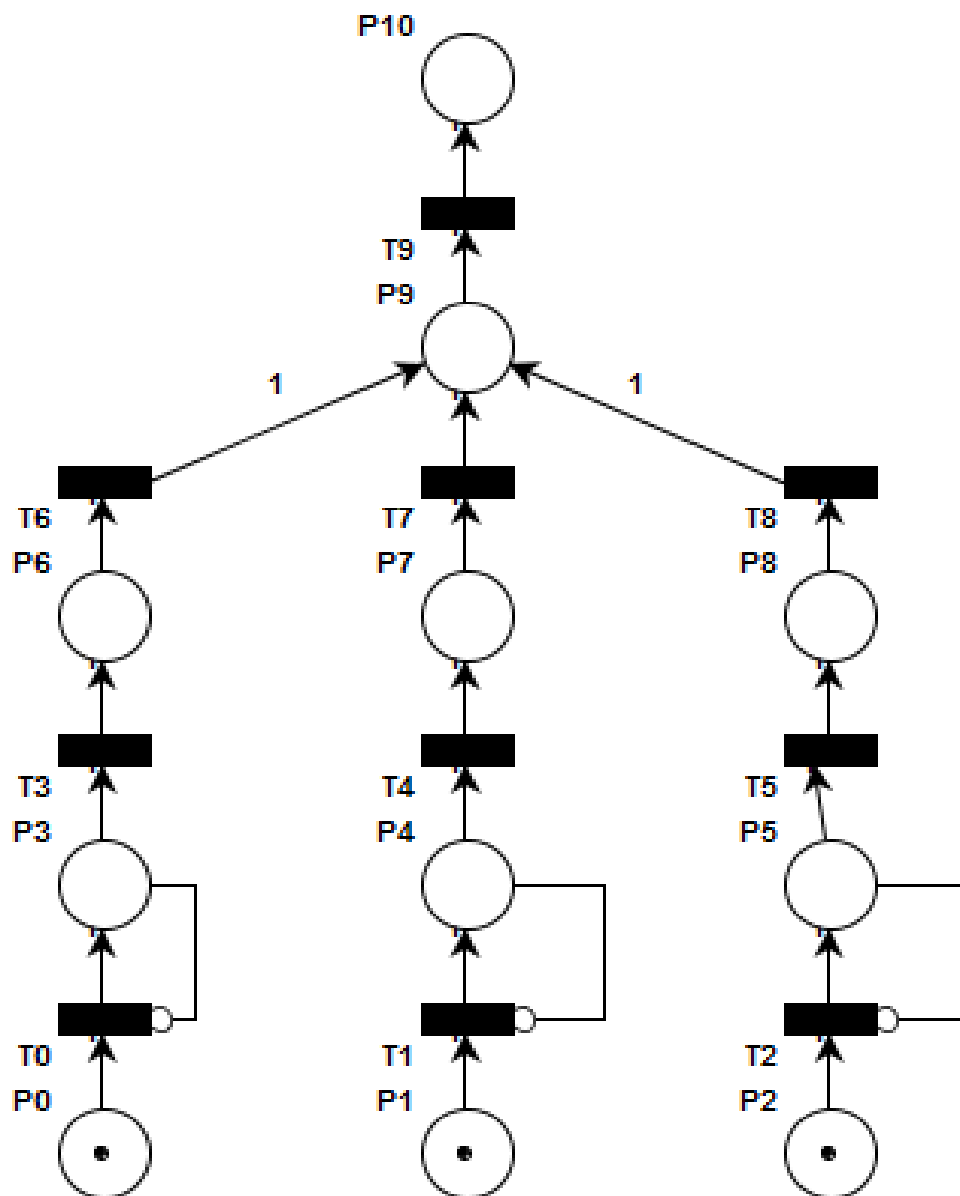


Рисунок 2.9 – Інформаційна модель системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж

Підсистеми давачів у побудованій моделі представлені позиціями $P_0 - P_2$, обробку даних з давачів позиціями $P_3 - P_5$. У позиції $P_7 - P_8$ поступають дані із сенсорних вузлів для подальшої відправки на сервер. В позиції P_9 зосереджуються всі дані для безпосередньо відправлені по мережі інтернет. Переходи $T_0 - T_9$ призначені для опису процесів руху даних між позиціями $P_0 - P_{10}$. Детальний опис

призначення переходів інгібіторної мережі Петрі, яка репрезентує інформаційну модель системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж наведений у таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Опис призначення позицій побудованої мережі Петрі

Позиція	Призначення
P_0	Дані з підсистеми давачів сенсорного вузла 1
P_1	Дані з підсистеми давачів сенсорного вузла 2
P_2	Дані з підсистеми давачів сенсорного вузла N
P_3	Дані від давачів на обробці сенсорним вузлом 1
P_4	Дані від давачів на обробці сенсорним вузлом 2
P_5	Дані від давачів на обробці сенсорним вузлом N
P_6	Оброблені сенсорним вузлом 1 дані перед відправкою
P_7	Оброблені сенсорним вузлом 2 дані перед відправкою
P_8	Оброблені сенсорним вузлом N дані перед відправкою
P_9	Дані на відправлені на сервер через мережу
P_{10}	Дані від сенсорних вузлів збережені на сервері

Таблиця 2.2 – Опис призначення переходів побудованої мережі Петрі

Перехід	Призначення
T_0	Надходження даних з підсистеми давачів сенсорного вузла 1
T_1	Надходження даних з підсистеми давачів сенсорного вузла 2
T_2	Надходження даних з підсистеми давачів сенсорного вузла N
T_3	Підготовка даних із сенсорного вузла 1 до надсилання на сервер
T_4	Підготовка даних із сенсорного вузла 2 до надсилання на сервер
T_5	Підготовка даних із сенсорного вузла N до надсилання на сервер
T_6	Відправа даних на сервер сенсорним вузлом 1
T_7	Відправа даних на сервер сенсорним вузлом 2
T_8	Відправа даних на сервер сенсорним вузлом N
T_9	Збереження даних від усіх сенсорних вузлів на сервері

Графи досяжності призначені для відображення всіх можливих станів системи і переходів між ними. В загальному випадку граф досяжності

представляється у вигляді: $H = (S, T)$, де S – множина станів системи; T – множина зв'язків між станами системи. Припустимо, що кількість станів системи є скінченним числом, що рівне n , то $S = \{S_0, S_1, \dots, S_n\}$, де S_j – j -ий стан системи. Оскільки граф досяжності є орієнтованим графом, то для однозначності зв'язків між станами додано інформацію про те, з якого стану система переходить в інший стан.

Отже, кількість переходів позначимо через t , і цей індекс елемента множини зв'язків розташуємо внизу, а двома верхніми індексами будемо позначати стан. Тобто, першим позначимо індекс, що буде відображати початковий стан системи до спрацьовування переходу, а другим – кінцевий стан системи. Тому, множина зв'язків між станами включає такі елементи: $T = (T_0, T_1, \dots, T_t)$, де t – номер переходу [38-41].

Додамо інформацію про стан системи, з якого зроблений перехід і який стан одержимо: $T = (T_0^{input_1,output_1}, T_1^{input_2,output_2}, \dots, T_t^{input_t,output_t})$, де $input_i$ – номер початкового стану системи i -го переходу; $output_i$ – номер кінцевого стану системи i -го переходу.

Дослідження побудованої інформаційної моделі на основі мереж Петрі дає змогу зробити висновок про те, що використання інгібіторних мереж Петрі забезпечує ефективніший процес моделювання, оскільки для побудови моделі системи моніторингу загазованості території міста на основі інгібіторних мереж необхідно використати в середньому на 10% менше елементів мережі, ніж при побудові аналогічних моделей на основі простих мереж Петрі.

Використання інгібіторних мереж Петрі дає можливість спростити структуру моделей, що в кінцевому випадку, призводить до зменшення необхідних обчислювальних ресурсів, які необхідні для реалізації цих моделей з використанням персонального комп'ютера.

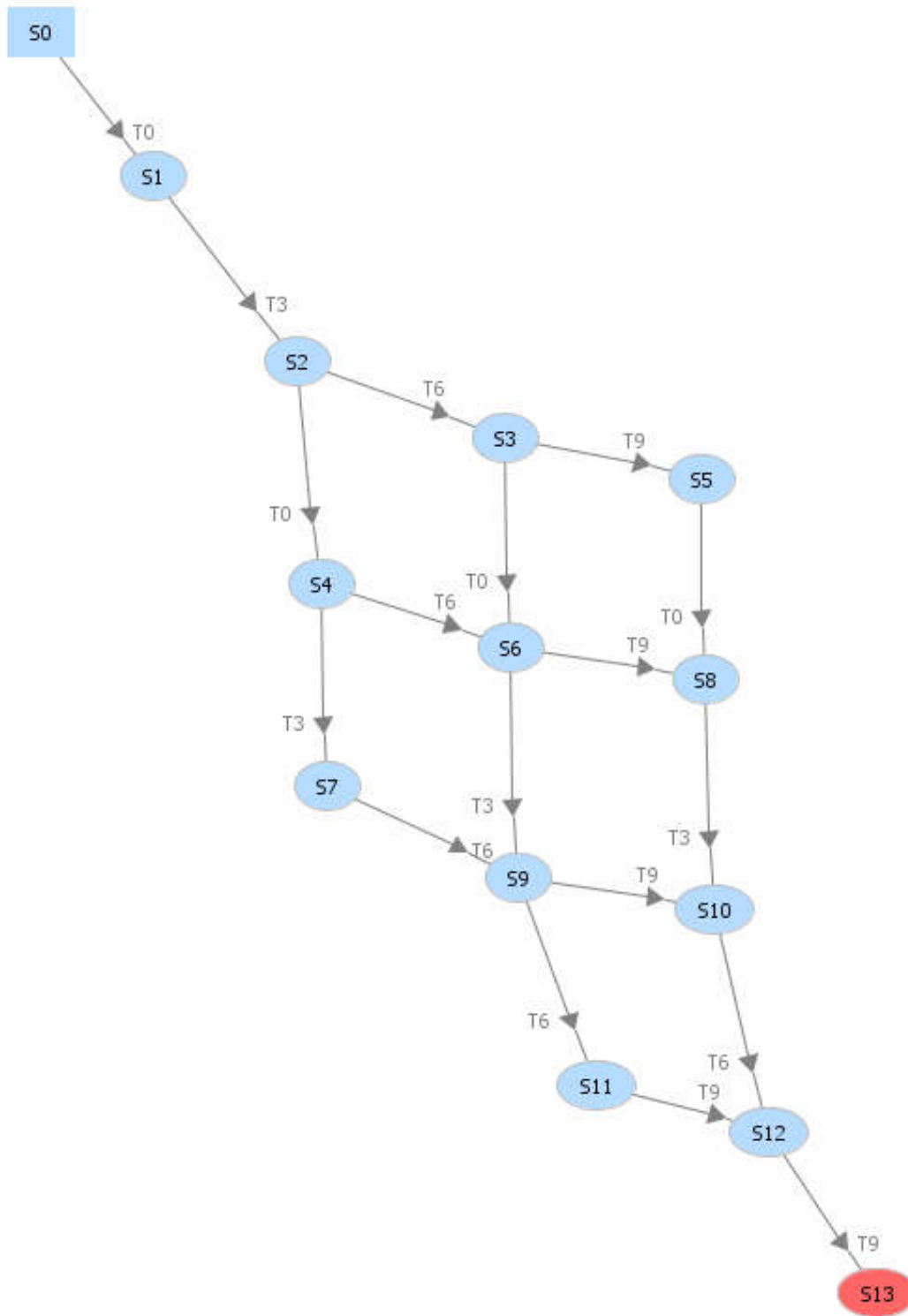


Рисунок 2.10 – Граф досяжності станів побудованої мережі Петрі для випадку відправки даних одним сенсорним вузлом

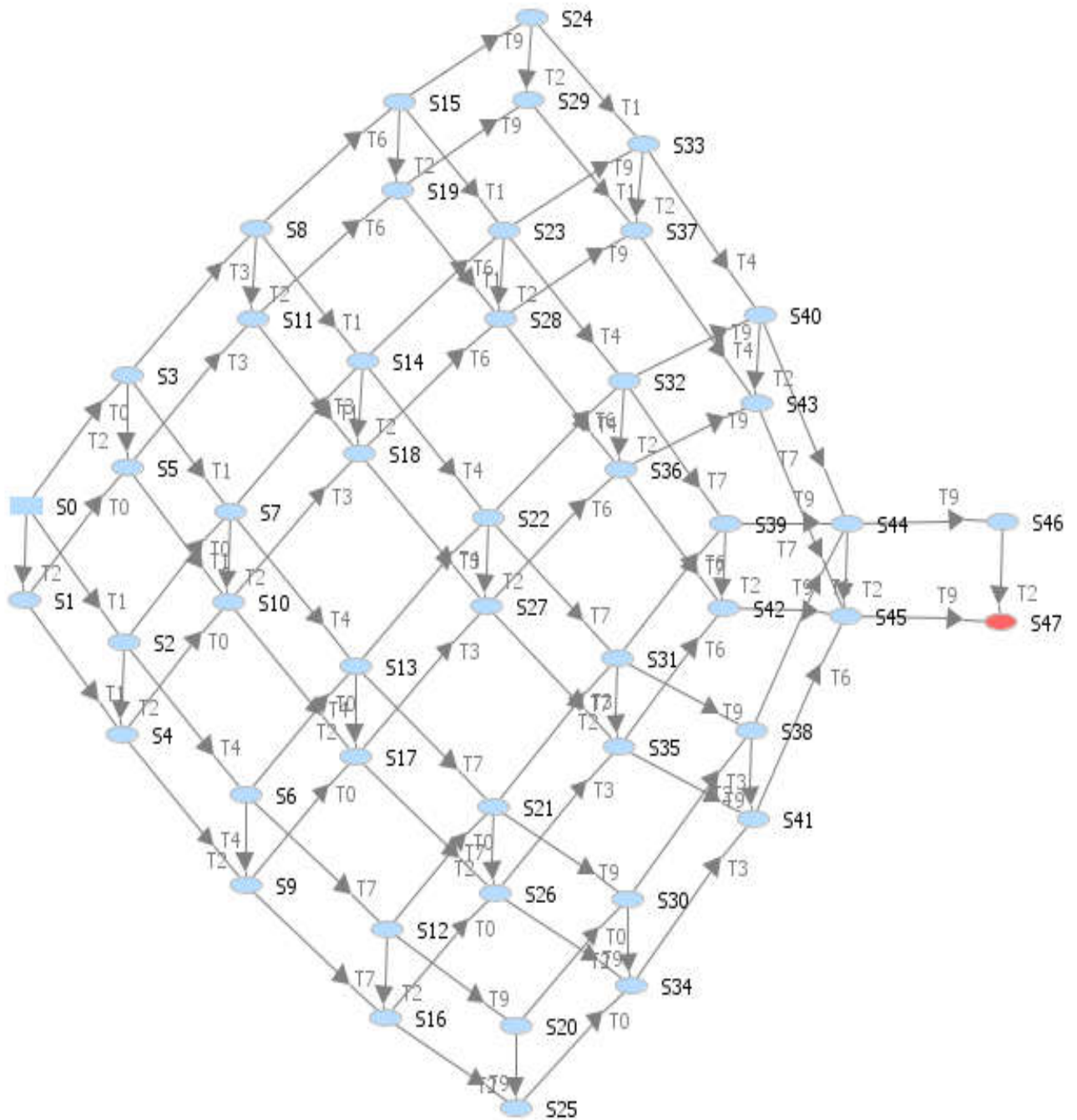


Рисунок 2.11 – Граф досяжності станів побудованої мережі Петрі для випадку відправки даних трьома сенсорними вузлами

В ході аналізу розроблених моделей було виявлено, що вони детально і повно описують динаміку функціонування проектованої системи для часткових випадків моделювання. При введенні нових типів даних та правил їх опрацювання, графи досяжності, які описують стани моделей стають дуже громіздкими та складними для відображення та аналізу, потребують автоматизованої обробки.

В даному розділі розроблено структуру системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж, яка ґрунтується на модульному принципі, що забезпечує просту й негайну заміну конкретного модуля в разі виходу його з ладу і, як наслідок, підвищену надійність функціонування системи в цілому, а також безпроблемне масштабування та нарощування системи в майбутньому.

До структури системи увійшли такі складові елементи: підсистеми давачів; контролер; комунікаційний блок; сенсорний вузол; інтернет; віддалений сервер.

Розроблено алгоритм і блок-схему алгоритму роботи системи моніторингу загазованості території міста, які дають змогу оцінити детальний опис функціональних можливостей усіх компонентів структури системи на кожному етапі її функціонування.

Побудовано та досліджено інформаційну модель системи моніторингу загазованості території міста на основі інгібіторних мереж Петрі, що дають змогу дослідити динаміку роботи системи.

Результати дослідження показали, що в процесі моделювання виконуються основні принципи мереж Петрі, а отже розроблені структура та алгоритм системи моніторингу загазованості території міста є адекватною і коректно.

Розроблена модель може бути використана для програмно-апаратної реалізації системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж.

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВУЗЛА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАГАЗОВАНOSTІ ТЕРИТОРІЇ МІСТА НА ОСНОВІ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

3.1 Технічні характеристики керуючого контролера сенсорного вузла системи моніторингу

Виходячи з основних вимог до сенсорного вузла, в якості керуючого обчислювального елемента було обрано мікроконтролерну платформу NodeMCU (рисунок 3.1).

NodeMCU – це платформа з відкритим вихідним кодом для IoT (інтернет речей) на базі мови eLua. Вона включає в себе прошивку і плату розробника, робота яких ґрунтується на модулі ESP-12 (ESP-8266) від Espressif Systems, завдяки чому платформа здатна приймати та передавати дані у локальну комп'ютерну мережу та інтернет через Wi-Fi [42].

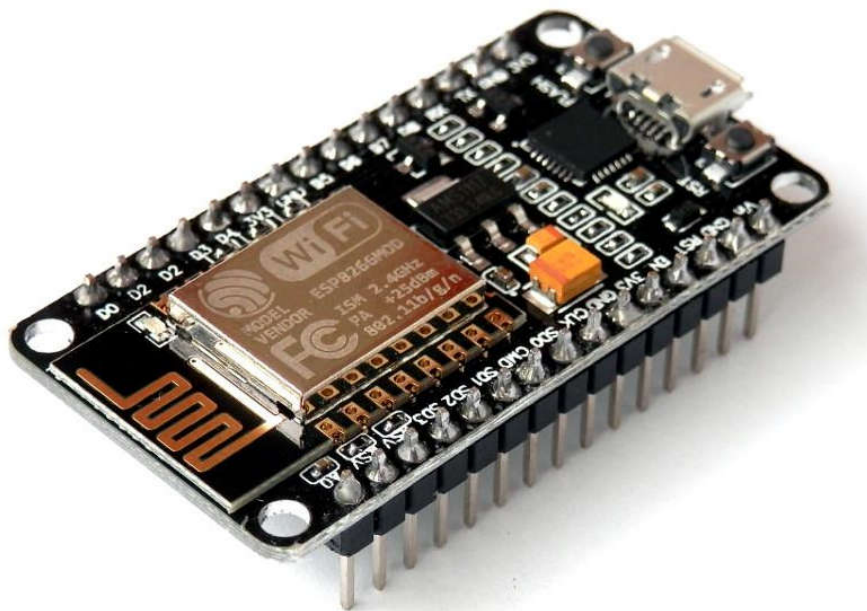


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд платформи NodeMCU

Компанія Espressif Systems постійно здійснює науково-дослідну і проектну діяльність в області Wi-Fi і Bluetooth технологій. В результаті чого, продукція Espressif широко відома в усьому світі і використовується в мобільних пристроях, побутової техніки та промислових додатках.

Високоінтегровані Espressif Wi-Fi чіпсети і модулі створені таким чином, щоб займати мінімальне місце на платі, універсальні в застосуванні, економічні по споживанню і вигідні за ціною.

Приблизно в серпні 2014 року на торговому майданчику aliexpress з'явилися дешеві (близько 4 \$) WI-FI модулі ESP8266 китайського розробника.

Модуль продається із завантаженою прошивкою, яка утворює WI-FI–UART міст для підключення до іншого мікроконтролера, в тому числі і до Arduino. Налаштування та обмін даними відбувається за допомогою AT команд.

Технічні характеристики ESP8266 [43]:

- процесор: одноядерний Tensilica L106 частотою до 160 MHz;
- підтримувані стандарти WI-FI: 802.11 b / g / n;
- підтримувані типи шифрування: WEP, WPA, WPA2;
- підтримувані режими роботи: Клієнт (STA), Точка доступу (AP), Клієнт + Точка доступу (STA + AP);
- напруга живлення: 1.7..3.6 В;
- споживаний струм: до 215мА в залежності від режиму роботи;
- кількість GPIO: 16 (фактично до 11). Доступно на модулях: ESP-01 - 4, ESP-03 - 7 + 1, влючая UART. Існують і інші варіанти модулів;
- інтерфейси: 1 ADC, I2C, UART, SPI, PWM;
- зовнішня Flash пам'ять може бути встановлена від 512кб до 4Мб; RAM даних 80 кб, RAM інструкцій - 64 кб.

Мікроконтролер, представлений на рисунку 3.2, не має на кристалі користувацької енергонезалежної пам'яті.

Виконання програми здійснюється із зовнішньої SPI ПЗП шляхом динамічного підвантаження необхідних ділянок програми в кеш інструкцій.

Підтримується до 16 МБ зовнішньої пам'яті програм. Можливий Standard, Dual або Quad SPI інтерфейс. Чіп ESP8266 є одним з найбільш високоінтегрованих рішень для роботи з WiFi.

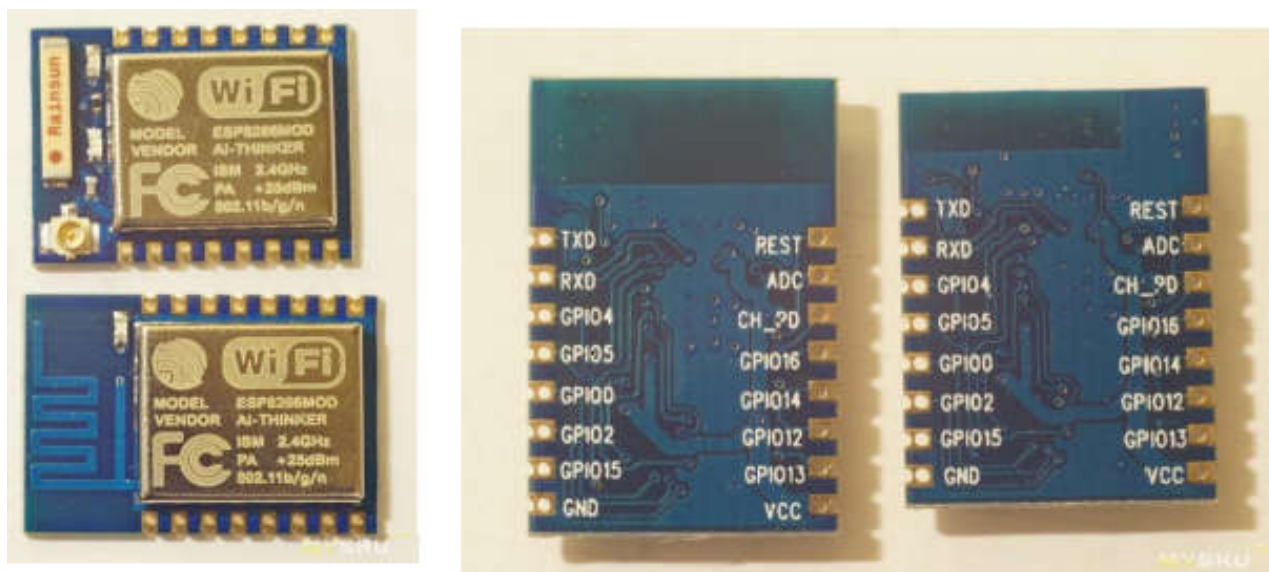


Рисунок 3.2 – Модулі ESP8266-07 і ESP8266-12

Типова об'язка чіпа показана на рисунку 3.3. Вона складається всього з декількох елементів. Відповідно менше елементів – менша ціна компонентів, менша вартість пайки, менша площа розміщення, менша вартість друкованої плати. Управляє всім розширена версія 32-бітного процесора Tensilica's L Diamond series.

Енергоспоживання – одна з найважливіших характеристик для вузлів безпроводних сенсорних мереж. Як правило, в таких вузлах не можливо міняти батареї в датчиках кожні два-три місяці. Тому з появою згаданого модуля, Wi-Fi можна використовувати навіть в автономних датчиках, що працюють на невеликих батареях. Завдяки використанню просунутих механізмів управління енергоспоживанням. Якщо подивитися на характеристики споживання чіпа, 215mA в режимі передачі, близько 60mA в режимі глибокого сну (з працюючими годинниками реального часу) і менше 1.0mA (DTIM = 3) або менше 0.5mA (DTIM = 10) в режимі підтримки зв'язку з точкою доступу Wi-Fi [44].

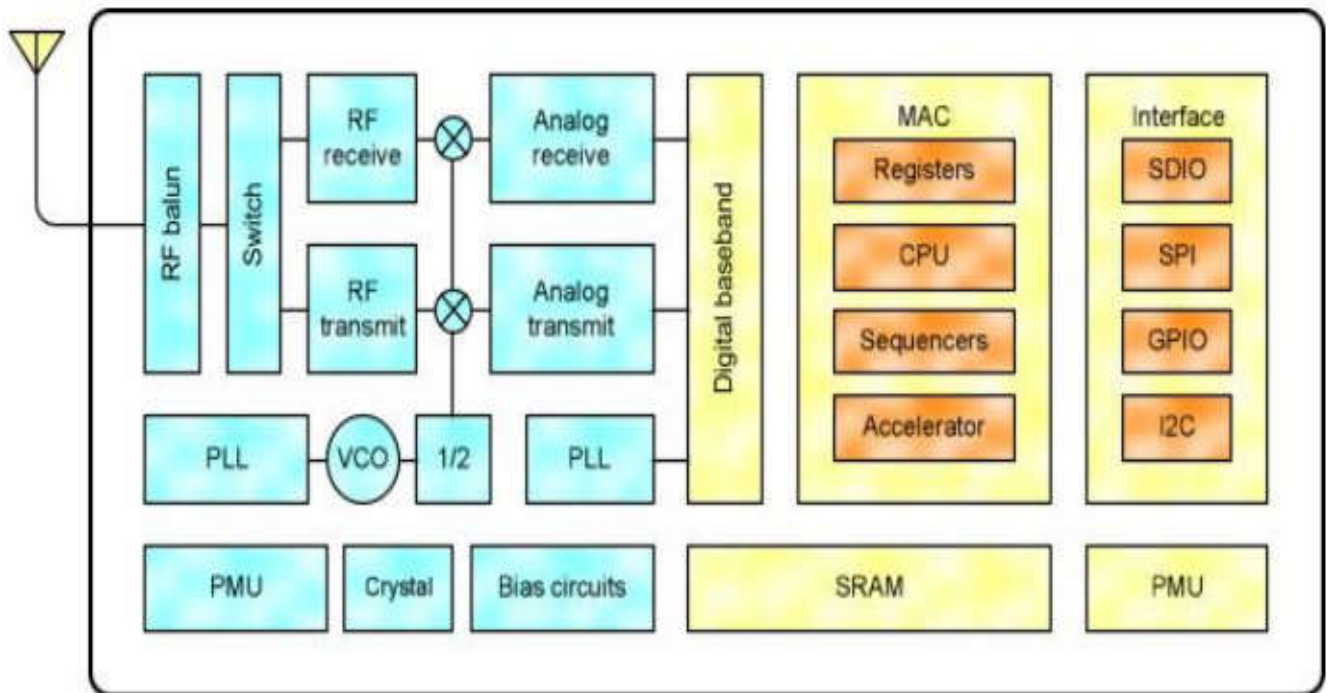


Рисунок 3.3 – Обв’язка чіпа ESP8266

Прошивка NodeMCU, заснована на офіційному SDK від Espressif, використовує файлову систему «SPIFFS» і має вбудований інтерпретатор мови LUA. NodeMCU вміє виконувати скрипти як з послідовного порту «UART» так і завантажувати з файлової системи. Зручність NodeMCU полягає також у вбудованому інтерпретаторі мови LUA, для зміни або додавання нової функції, досить змінити скрипт з кодом, який зберігається у файловій системі, без необхідності компілювати весь проект заново. Це значно спрощує розробку і скорочує налагодження проектів, тому що завантаження скрипта в NodeMCU займає значно менше часу, ніж компіляція і прошивка всього проекту, як наприклад при використанні Arduino IDE [45].

До переваг платформи NodeMCU слід віднести такі її властивості:

- простота програмування, схожа з Node.js;
- заснована на Lua 5.1.4;
- асинхронне програмування;
- понад 55 вбудованих модулів;
- детальна документація <https://nodemcu.readthedocs.io>;

- робота з протоколами обміну даними: HTTP, MQTT, JSON, CoAP;
 - підтримка датчиків, дисплеїв, «розумних» світлодіодів;
 - підтримка різних інтерфейсів: 1-Wire, I2C, SPI, UART;
 - підтримка шифрування, планувальник завдань, таймери і т.д.
- Призначення GPIO платформи NodeMCU показані на рисунку 3.4.

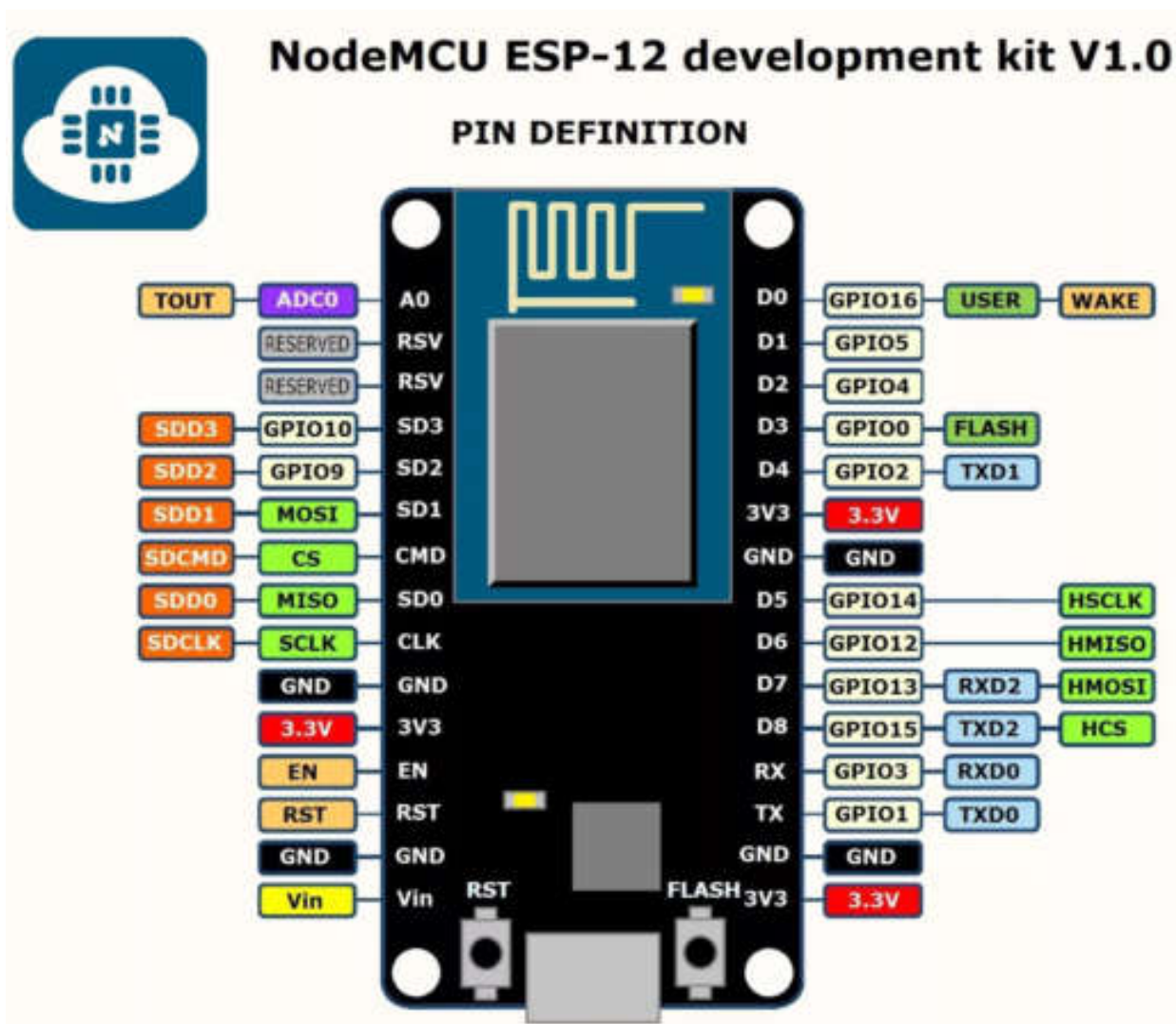


Рисунок 3.4 – Призначення виводів платформи NodeMCU

Є також у платформи і свої недоліки, так як сама віртуальна машина LUA використовує досить багато пам'яті, для розробки залишається ~45 KB. Для невеликих задач цього цілком достатньо, але при розробці проекту з web-інтерфейсом, і для одночасної роботи різних модулів, накладає свої обмеження.

NodeMCU-прошивка містить в собі інтерпретатор мови Lua і MicroPython. Дозволяє розміщувати в пам'яті модуля файли, а також виконувати скрипти, написані на Lua.

Для того щоб встановити прошивку була встановлена і запущена програма ESP8266flasher. Підключивши TTL-USB перетворювач до модуля було подано низький логічний рівень на GPIO0 для його увімкнення. Після цього в програмі необхідно було вибрати файл з прошивкою і натиснути кнопку «Flash (F)». В результаті програма зчитує AP MAC і STA MAC адреси модуля. Після цього процес завантаження прошивки NodeMCU було здійснено автоматично [46].

3.2 Програмне забезпечення сенсорного вузла системи моніторингу загазованості території міста

NodeMCU – це популярна і дуже зручна платформа на основі WiFi модуля ESP-8266. По суті, NodeMCU є платою, на якій розміщені: сам модуль ESP-8266, стабілізатор напруги і USB-UART міст. Ще однією досить вагомою перевагою даної платформи є те, що її можливо програмувати тими ж засобами, що й звичайну плату Arduino. Існують різні версії ESP8266, але майже для всіх використовується один і той же спосіб настройки середовища розробки Arduino IDE. Розглянемо детальніше, як зробити всі необхідні налаштування [47].

На першому етапі програмне забезпечення Arduino IDE необхідно завантажити із офіційного сайту Arduino, та встановити на персональний комп'ютер. Після цього потрібно здійснити налаштування Arduino IDE для роботи саме з платформою NodeMCU, адже по-замовчуванню такої можливості немає.

Для здійснення налаштування інтегрованого середовища розробки заходимо у налаштування Arduino IDE та завантажуюємо додаткові програмні пакети з

мережі інтернет, використавши наступне посилання для завантаження: http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json.

Наступним кроком є додавання необхідної нам плати до бази Arduino IDE. Для цього переходимо у меню “Tools/Board/Boards Manager” і в стрічці пошуку менеджера набираємо “ESP”. Тоді обираємо з переліку необхідний нам паке “esp8266 by ESP8266 Community” та натискаємо на кнопку “Install” для встановлення. Через деякий час пакет скопіює необхідні файли і в Arduino IDE можна буде вибрати потрібну нам плату [48]. Описані етапи налаштування інтегрованого середовища розробки Arduino IDE для роботи з платформою NodeMCU, що є основою сенсорного вузла системи моніторингу загазованості території міста представлені на рисунках 3.5-3.9.

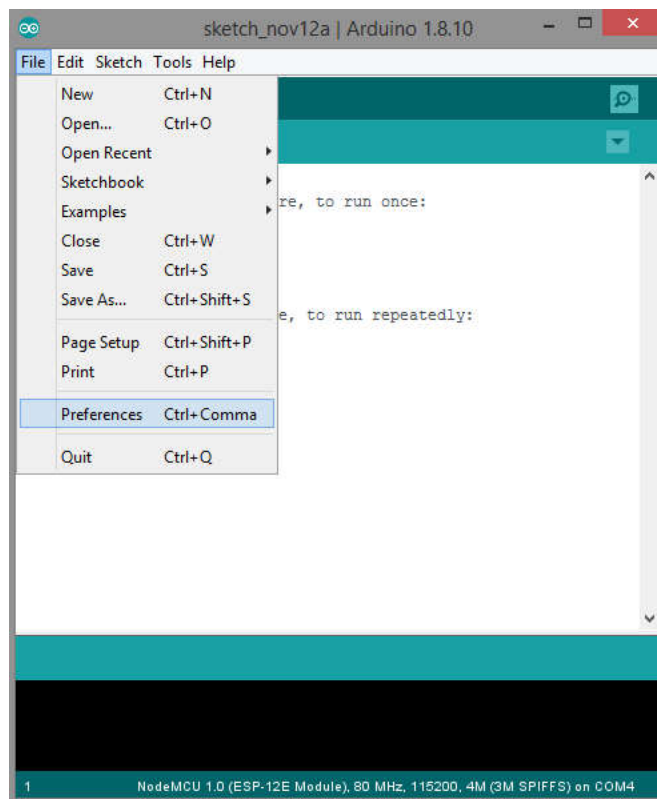


Рисунок 3.5 – Меню налаштування середовища Arduino IDE

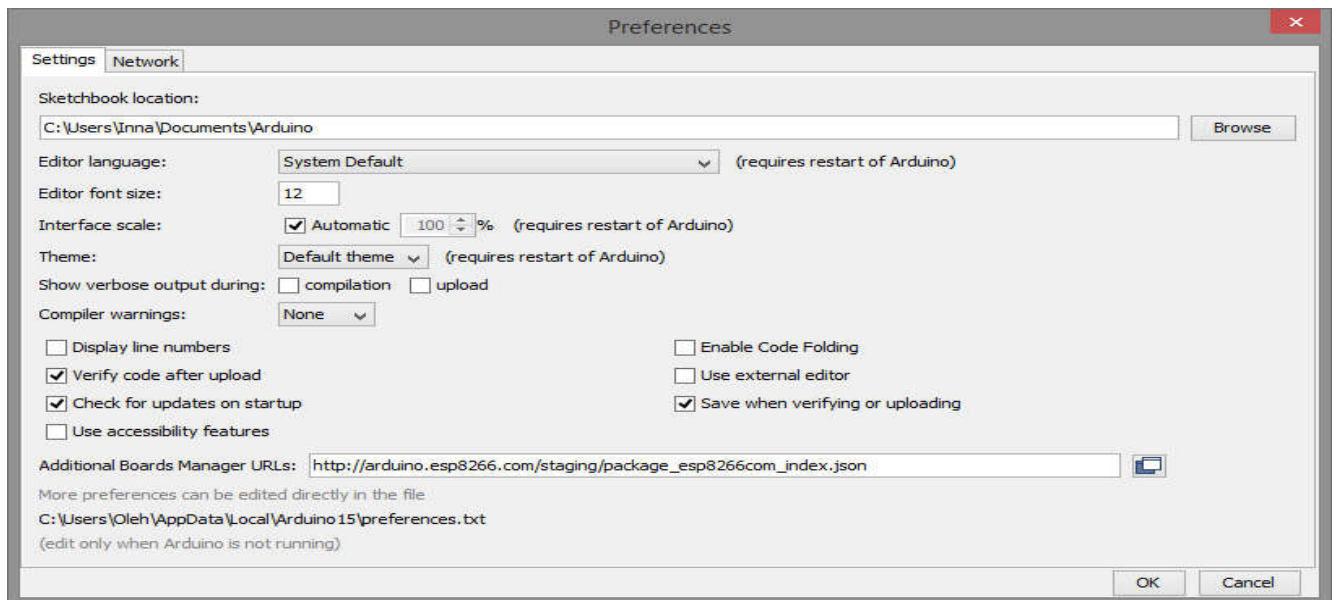


Рисунок 3.6 – Процес завантаження необхідного пакету у налаштуваннях середовища Arduino IDE

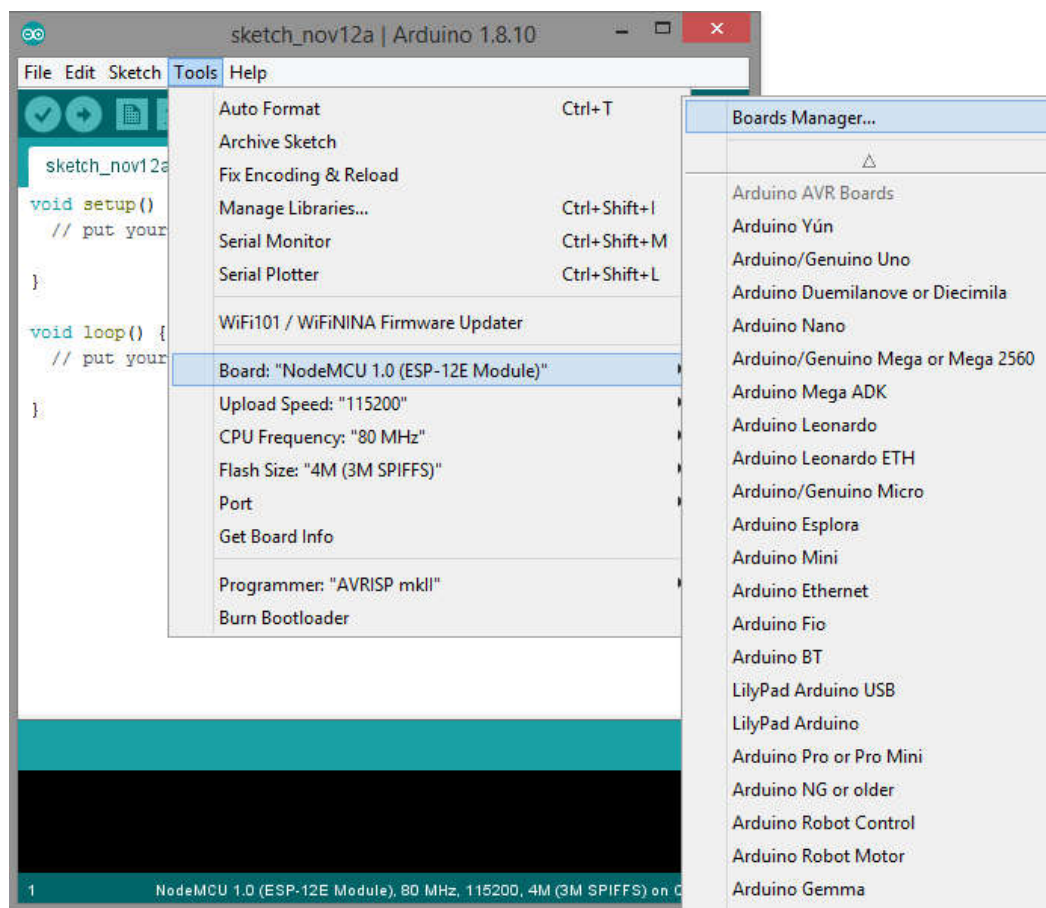


Рисунок 3.7 – Меню налаштування менеджера плат середовища Arduino IDE

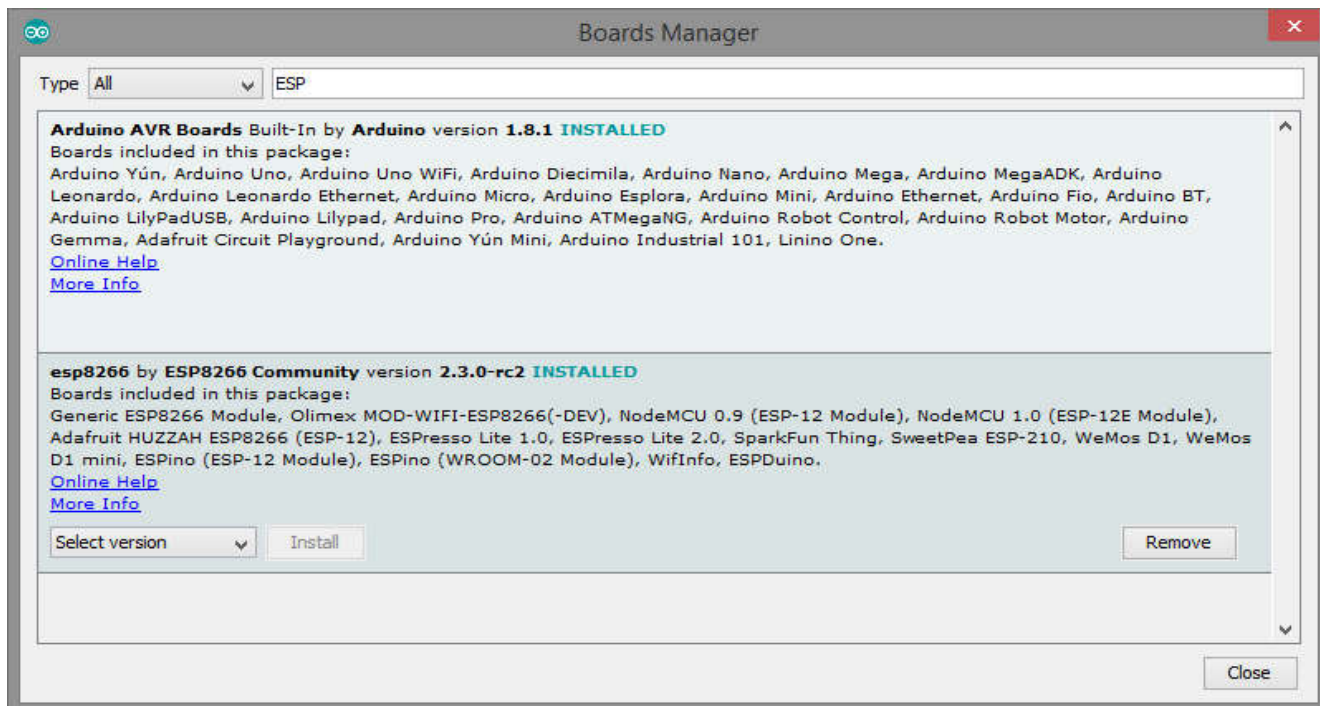


Рисунок 3.8 – Встановлення необхідних для NodeMCU пакетів у менеджері плат Arduino IDE

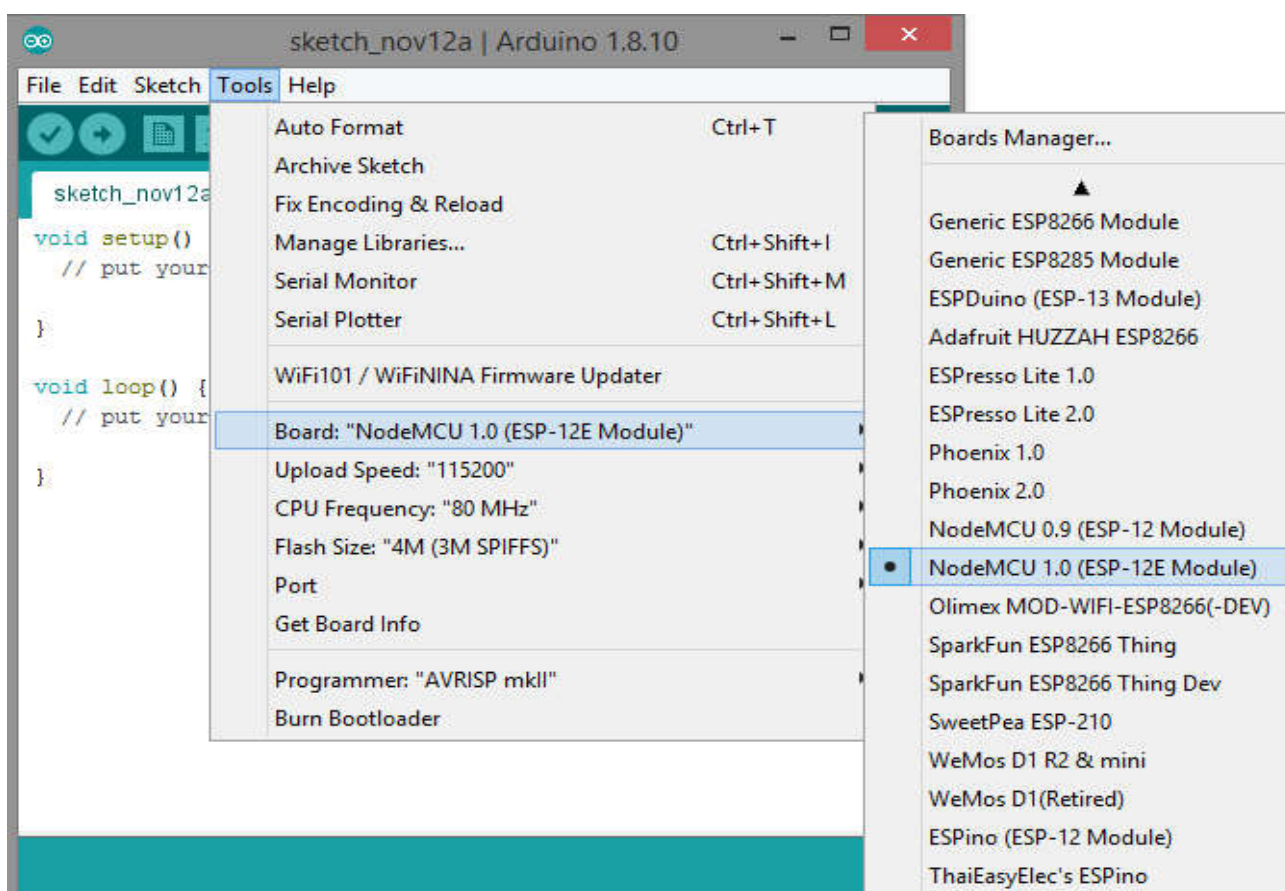


Рисунок 3.9 – Інтегроване середовище розробки Arduino IDE налаштоване для роботи з платформою NodeMCU

Середовище розробки Arduino IDE складається з:

- редактора програмного коду;
- області повідомлень;
- вікна виведення тексту;
- панелі інструментів з кнопками часто використовуваних команд;
- декількох меню.

Додаткова функціональність може бути додана за допомогою бібліотек, що представляють собою оформлений спеціальним чином код. В основному він знаходиться в закритому від розробника доступі. Початковий набір бібліотек, які поставляються зі стандартним набором, можна поступово поповнювати новими. Вони знаходяться в підкаталозі “libraries” каталогу “Arduino” [49].

Багато бібліотек забезпечуються прикладами, розташованими в папці “example”. Вибір бібліотеки в меню призведе до додавання до початкового коду рядка: “`#include <library.h>`”. Це директива – певна інструкція, заголовки з описом об'єктів, функцій, і констант бібліотеки. Багато функцій вже розроблені для більшості типових задач, що значно полегшує роботу програмістам.

Після того як ми підключили електронну плату до комп'ютера. Ми здійснюємо наступні налаштування, вибираємо необхідну плату і Com-порт по якому будемо з'єднуватися.

В середовищі інтегрованої розробки Arduino IDE також є така корисна функція як Монітор послідовного порту (Serial Monitor). Монітор відображає дані, які надсилаються до мікроконтролерної плати різноманітними давачами.

Існують різні способи для додавання користувацьких функцій. Підключити бібліотеки можна трьома способами:

- за допомогою Library Manager;
- за допомогою імпорту як файл .zip;
- установка вручну.

За допомогою Library Manager: у робочому вікні програми вибираємо вкладку “Scetch”. Після цього натискаємо на кнопку “Include Library”. Перед нами

відкриється менеджер бібліотек. У вікні будуть відображатися вже встановлені файли з підписом “installed”, і ті, які можна встановити.

Часто в просторах інтернету можна зустріти запаковані в архіви файли бібліотек з розширенням zip. У них містяться заголовки .h і файл коду .cpp. При установці не потрібно розпаковувати архів. Досить обрати в меню “Sketch - Include Library - Add .ZIP library”.

Установка вручну: спочатку закриваємо програму Arduino IDE. Розпаковуємо необхідний архів бібліотеки. І файли з розширенням .h і .cpp переносимо в папку з такою ж назвою, як і архів, а саму папку переміщуємо у кореневій каталог: “Мої документи \ Arduino \ libraries”.

Згідно з розробленими структурою та алгоритмом, сенсорний вузол на основі платформи NodeMCU повинен взаємодіяти з підсистемою датчиків та надсилати дані про рівень загазованості атмосферного повітря на віддалений сервер.

Для цього сенсорний вузол повинен бути здатний безперешкодно працювати з певним датчем газу, а також здійснювати автоматичне підключення до мережі інтернет (в нашому випадку за допомогою Wi-Fi) для передачі даних. Реалізація цих функцій передбачає використання бібліотек “ESP8266WiFi.h” та “ESP8266HTTPClient.h”.

Бібліотека ESP8266WiFi розроблена на базі SDK ESP8266 з використанням угоди про назви та інші принципи, що використовувалися при створенні Arduino-бібліотеки WiFi Shield.

Бібліотека WifiClient може надсилати та отримувати дані на сервер, але ми повинні самі формувати дані, наприклад заголовки повідомлень та аналіз відповіді. ESP8266HTTPClient точно знає, як комунікувати з веб-сервером HTTP і виконує все необхідне форматування та аналіз за нас.

Нижче представлено розроблений фрагмент програмного коду, що описує імпорт необхідних бібліотек та ініціалізацію початкових даних для роботи сенсорного вузла:

```

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
WiFiClient client;
String                                     thingSpeakAddress=
"http://api.thingspeak.com/update?";
String writeAPIKey;
String tsfield1Name;
String request_string;
HTTPClient http;

```

Наступним етапом є автоматичний пошук і підключення сенсорного вузла системи моніторингу загазованості до наявної мережі Wi-Fi для отримання можливості передачі даних, отриманих з датчика, на сервер ThingSpeak через інтернет. Відповідний фрагмент програмного коду Arduino IDE наведений нижче:

```

void setup()
{
  WiFi.disconnect();
  WiFi.begin("Monitor", "pass");
  while (!(WiFi.status() == WL_CONNECTED)) {
    delay(300);
  }
}

```

Як уже згадувалося для зберігання та відображення даних від сенсорних вузлів безпроводної сенсорної мережі обрано ресурс ThingSpeak.

ThingSpeak – це платформа для проєктів, побудованих на концепції "Інтернет речей". Дана платформа дозволяє вам будувати додатки на основі даних, зібраних з датчиків. До основних можливостей ThingSpeak можна віднести: збір даних в реальному часі, обробка даних і їх візуалізація. ThingSpeak API дозволяє не тільки відправляти, зберігати і отримувати доступ до даних, але і надає різні статистичні методи їх обробки [50].

ThingSpeak – проєкт з відкритим вихідним кодом. Це платформа і API для зберігання та вилучення даних від пристроїв по HTTP протоколу через інтернет або локальну мережу. З ThingSpeak можна створювати додатки контролю даних від різних датчиків, додатки відстежують розташування, можна навіть побудувати "соціальну мережу речей" з оновленнями статусів.

У ThingSpeak можна інтегрувати популярні пристрої і сервіси такі як:

- Arduino;
- Raspberry Pi;
- ioBridge / RealTime.io;
- Electric Imp;
- мобільні і Web додатки;
- Social Networks;
- аналіз даних в MATLAB.

Основу платформи складають канали, в які і надсилаються дані для зберігання і візуалізації. Кожен канал включає в себе 8 полів для будь-якого типу даних, 3 поля для розташування (широта, довгота, висота), і 1 поле стану. Як тільки ви зареєструєте у ThingSpeak свій канал ви відразу зможете відправляти туди дані, обробляти їх і отримувати до них доступ вашими додатками. Канали підтримують JSON, XML і CSV формати даних. Дані відправляються в ThingSpeak HTTP POST запитом [51].

Для тестування платформи можна скористатися FireFox плагіном Poster. Цей плагін відмінно підходить для тестування Веб-сервісів і API. Якщо ви хочете відправити дані в "field1" каналу, то запит буде виглядати наступним чином (ключ API Key необхідно замінити на отриманий після реєстрації):

- URL: `http://api.thingspeak.com/update;`
- Content Type: `application / x-www-form-urlencoded;`
- Content: `key = (API Key) & field1 = 123.`

Фрагмент програмного коду, розробленого в інтегрованому середовищі розробки Arduino IDE, який забезпечує підключення сенсорного вузла до сервера ThingSpeak і передачу даних з давача моніторингу загазованості за допомогою API наведено нижче:

```
if (client.connect("api.thingspeak.com",80)) {
    request_string = thingSpeakAddress;
    request_string += "key=";
    request_string += "2NY8WRNBJUMTRZ3C";
    request_string += "&";
    request_string += "field1";
}
```

```
request_string += "=";  
request_string += analogRead(A0);  
http.begin(request_string);  
http.GET();  
http.end();
```

Результатом роботи представленого коду є зчитування поточних показів давача загазованості сенсорним вузлом, запис цих показів у змінну, підключення до сервера "api.thingspeak.com" через стандартний веб-порт з використанням API ключа та передача даних з давача на ThingSpeak [52].

3.3 Апаратне забезпечення сенсорного вузла системи моніторингу загазованості

В якості датчика аналізатора для сенсорного вузла системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж обрано MQ-2. Модуль датчика газу, основним елементом якого є газоаналізатор MQ-2, дозволяє виявити наявність в навколишньому повітрі вуглеводневих газів (пропан, метан, н-бутан), дим, водень. Датчик можна використовувати в проектах виявлення витоків газу, задимлення. Аналого-цифровий модуль дозволяє як отримувати дані про вміст газів до яких чутливий газоаналізатор, так і працювати безпосередньо з пристроями, видаючи цифровий сигнал про перевищення / зменшення порогового значення. Має регулятор чутливості, що дозволяє підлаштовувати датчик під потреби конкретного проекту. Модуль має два світлодіоди: перший (червоний) – індикація живлення, другий (зелений) – індикація перевищення / зменшення порогового значення.

Основним робочим елементом датчика є нагрівальний елемент, за рахунок якого відбувається хімічна реакція, в результаті якої виходить інформація про концентрацію газу. В процесі роботи датчик повинен нагріватися – це нормально. Також необхідно пам'ятати, що за рахунок нагрівального елемента, датчик

споживає великий струм, тому рекомендується використовувати зовнішнє джерело живлення.

Перед початком використання рекомендується прогріти датчик, тобто залишити його включеним на добу. Це допоможе досягти стабільних показань в процесі його подальшої роботи.

Варто звернути увагу, що покази датчика схильні до впливу температури і вологості навколишнього повітря. Тому в разі використання датчика в мінливому середовищі, буде необхідна компенсація цих параметрів.

Діапазони вимірювань:

- 0-1% - пропан;
- 0,03-0,5% - бутан;
- 0,05-2% - метан;
- 0,03-0,5% - водень.

Технічні характеристики:

- напруга живлення: 4,8 - 5,2 В;
- струм: 170 мА;
- час прогріву при включенні: 1 хв.

Фізичні розміри:

- модуль (Д x Ш x В): 35 x 20 x 21 мм.

Основні переваги:

- оптимальне недороге рішення для проектів виявлення газу і диму;
- зручний у використанні модуль за рахунок наявності цифрового і аналогового виводів.

Деякі недоліки:

- перед використанням вимагає довгого прогріву (не менше 24 годин);
- для зняття показань потрібно прогрів (не менше 1 хвилини).

Залежно від рівня газу в атмосфері змінюється внутрішній опір датчика. MQ-2 має аналоговий вихід, тому напруга на цьому виході буде змінюватися пропорційно рівню газу в навколишньому середовищі. Для визначення по логічному рівню також є цифровий вихід. На модулі датчика є вбудований

потенціометр, який дозволяє налаштувати чутливість цього датчика в залежності від того, наскільки точно ви хочете реєструвати рівень газу.

Щодо одиниць вимірювання загазованості, то на території колишнього Радянського Союзу, показники прийнято вимірювати в процентах (%) або ж безпосередньо в масі до обсягу (мг / м³). В зарубіжних країнах застосовує такий показник як ppm.

Скорочення ppm розшифровується як parts per million (частин на мільйон). Наприклад, 1 ppm = 0,0001%.

Діапазон вимірювань датчика за таким принципом наступний:

- пропан: 200-5000 ppm;
- бутан: 300-5000 ppm;
- метан: 500-20000 ppm;
- водень: 300-5000 ppm.

Розглянемо підключення датчика MQ-2 до мікроконтролерної платформи NodeMCU, на базі якої повинен функціонувати сенсорний вузол системи моніторингу загазованості території міста.

Схему підключення датчика MQ-2 до платформи NodeMCU розроблено в середовищі програмного забезпечення Fritzing.

Fritzing – це програма з відкритим кодом, розроблена для того, щоб полегшити процес прототипування проектів на базі популярних платформ: Arduino, Raspberry Pi, NodeMCU і багатьох інших.

У ній зберігається величезна кількість віртуальних моделей найрізноманітніших програмно-апаратних платформ, електронних компонентів і модулів, які можна розставляти на робочому полі і підключати до макетної плати, створюючи таким чином принципову схему нашого майбутнього пристрою.

Більше того у Fritzing можна накидати навіть макет друкованої плати, щоб в майбутньому її виготовити.

Загалом інструмент дуже корисний, а головне простий у використанні. Нам необхідно просто підключити всі необхідні елементи, і навіть якщо ми допустимо

якусь помилку підключення, жоден з віртуальних компонентів не згорить і не вийде з ладу.

Схема підключення сенсорного вузла системи моніторингу загазованості розроблена засобами емулятора Fritzing показана на рисунку 3.10.

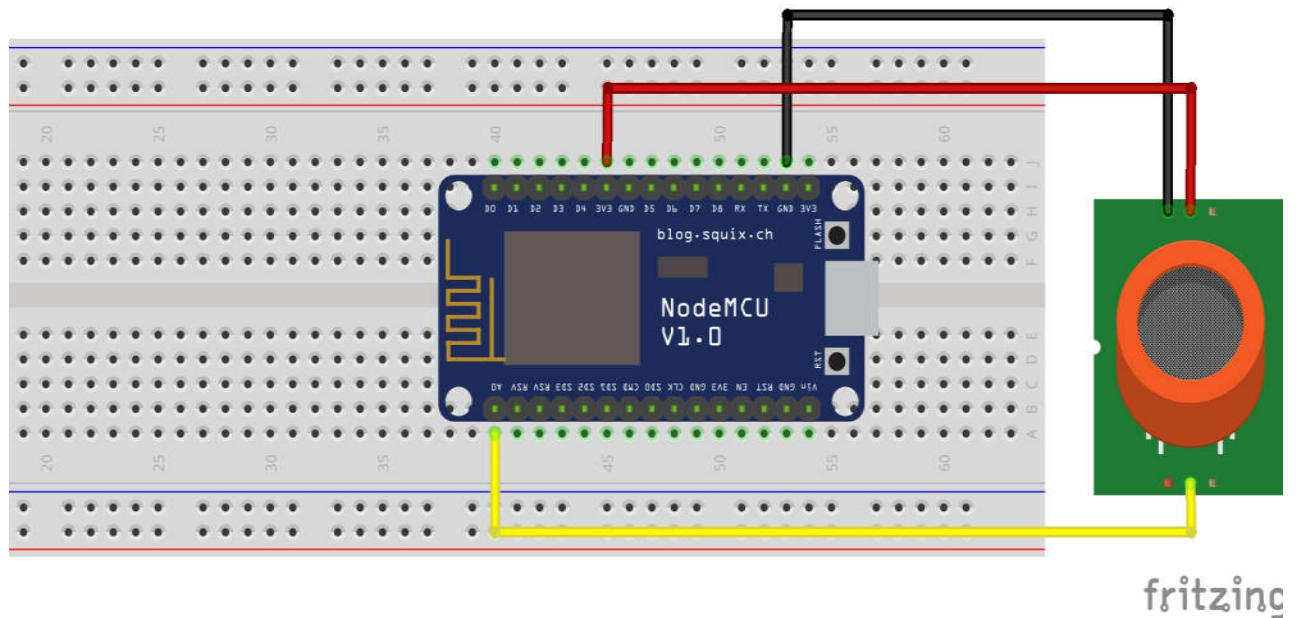


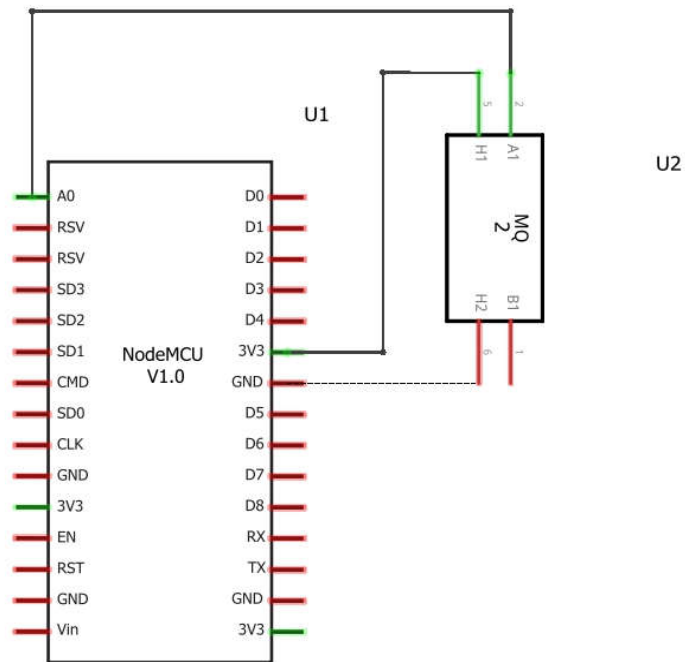
Рисунок 3.10 – Схема підключення давача MQ-2 до плати NodeMCU

Приклад автоматично згенерованої у Fritzing принципової схеми наведено на рисунку 3.11.

Реалізовану схему підключення давача загазованості до програмно-апаратної платформи NodeMCU можна побачити на рисунку 3.12. Для підключення використано такі компоненти:

- плата NodeMCU;
- давач загазованості MQ-2;
- макетна плата;
- з'єднувальні провідники.

Використання макетної плати дало змогу реалізувати макет сенсорного вузла за допомогою безпечних з'єднань, що дозволяє просто і швидко модифікувати схему підключення для вибору остаточного варіанту реалізації системи.



fritzing

Рисунок 3.11 – Приклад принципової схеми згенерованої у Fritzing на основі розробленої схеми підключення

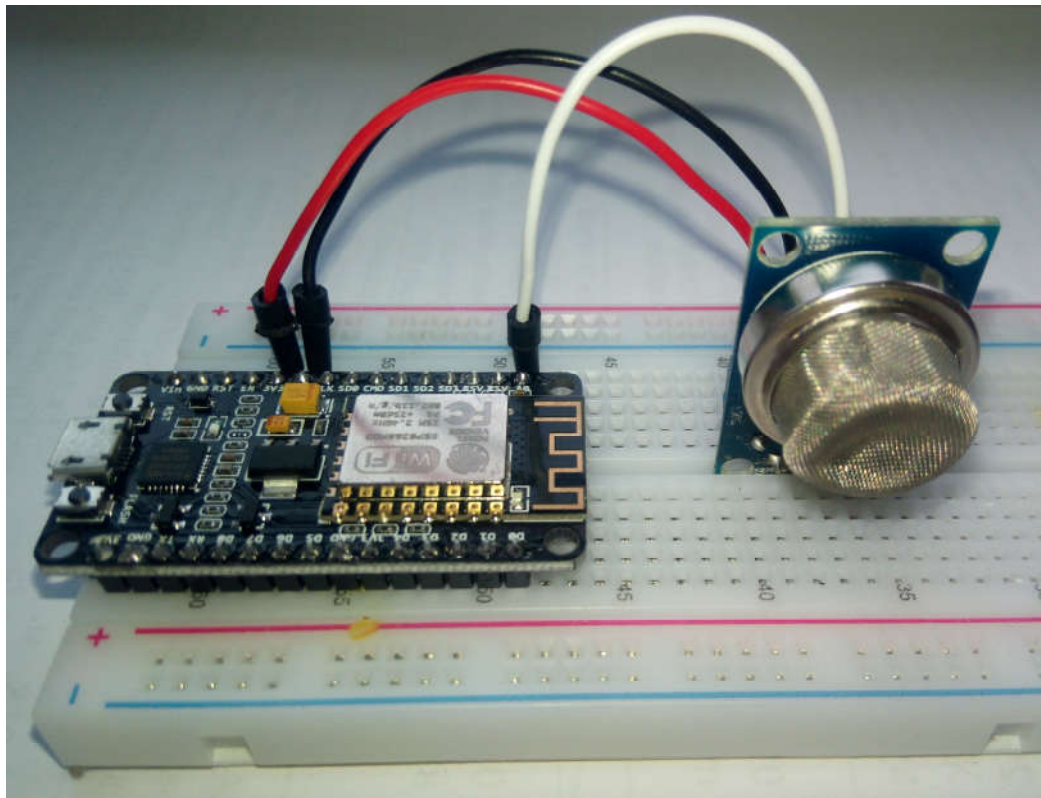


Рисунок 3.12 – Реалізований макет сенсорного вузла системи моніторингу загазованості на основі платформи NodeMCU

Для побудови локальної комп'ютерної мережі із доступом у Інтернет, у якій функціонує сенсорний вузол системи моніторингу, використано 3G Wi-Fi модем Huawei R206 (рисунок 3.13).



Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд 3G Wi-Fi модему Huawei R206

Wi-Fi роутер Huawei R206 досить потужний, при компактних розмірах 101,8 × 65,8 × 14,5 мм. Huawei R206 підтримує всіх операторів, досить лише вставити необхідну Sim-карту. В Україні працює з:

- Lifecell;
- Київстар;
- Vodafone;
- ТриМоб.

Роутер працює стабільно і надійно, показує хорошу швидкість в стандарті 3G: до 21,6 Мбіт/с при завантаженні і до 5,76 Мбіт/с при вивантаженні даних.

Це дає можливість забезпечити стабільну роботу сенсорного вузла. Детальні технічні характеристики використаного 3G Wi-Fi модему Huawei R206 наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики 3G Wi-Fi модему Huawei R206

Характеристика	Значення
Стандарт	GSM, 3G
Передача даних	GSM GPRS/EDGE, UMTS, HSDPA, HSPA, HSPA+
Частоти	2G: 900/1800 3G: 850/900/1900/2100
Максимальна швидкість	до 21,6 Мбіт/с
Інтерфейс	Wi-Fi, Micro USB, MicroSD
Можливість підключення зовн. антени	Вбудована
Підтримка операторів	Lifecell, Київстар, Vodafone, ТриМоб

Приклад відображення результатів роботи системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж засобами інтерфейсу платформи ThingSpeak для кінцевого користувача показано на рисунку 3.14.

Засоби ThingSpeak, окрім зберігання та відображення результатів, дають змогу здійснювати зручне налаштування інтерфейсу користувача, а також використовувати різноманітні статистичні методи для обробки даних отриманих з сенсорних вузлів системи моніторингу загазованості.

В даному розділі розглянуто основні технічні характеристики програмно-апаратних засобів, обраних для реалізації сенсорного вузла системи моніторингу загазованості території міста. В якості мікроконтролерної платформи використано плату NodeMCU, що працює на базі модуля ESP8266. Для отримання даних про стан загазованості обрано давач MQ-2.

Розроблено програмне забезпечення сенсорного вузла. В ході розробки використовувалось інтегроване середовище розробки Arduino IDE. Програмне забезпечення дає змогу забезпечити правильну роботу платформи NodeMCU з давачем загазованості MQ-2 та сенсорного вузла в цілому.

Air Pollution Monitoring System

Channel ID: 902458
Author: master112019
Access: Private

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys Data Import / Export

+ Add Visualizations + Add Widgets Export recent data

MATLAB Analysis MATLAB Visualization

Channel 4 of 4 < >

Channel Stats

Created: 9 days ago
Last entry: 9 days ago
Entries: 56

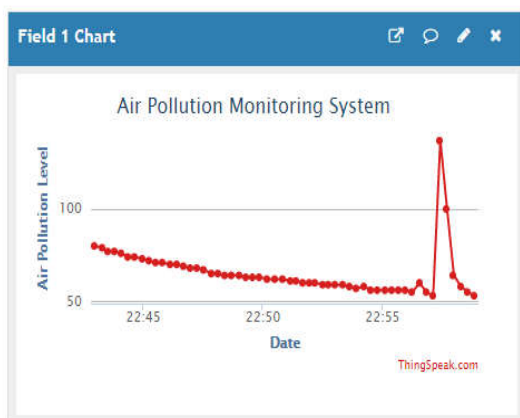


Рисунок 3.14 – Приклад відображення результатів роботи системи моніторингу загазованості для кінцевого користувача

Побудовано схему підключення усіх компонентів сенсорного вузла системи моніторингу. Для побудови схеми використано програмний емулятор Fritzing. Засобами Fritzing згенеровано принципову схему на основі побудованої схеми підключення.

Реалізовано макет сенсорного вузла системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж на базі побудованої схеми підключення та розробленого програмного забезпечення.

Представлено результати роботи системи моніторингу, а саме приклад відображення даних отриманих сенсорним вузлом з давача загазованості і переданих на сервер, у зручному для користувача вигляді графіку.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз дає змогу стверджувати, що транспортний комплекс є найбільшим джерелом забруднення атмосферного повітря у сучасних містах. Багато вітчизняних автомобілів є морально застарілими, тому викиди чадного газу становлять 3-3,5%, триває використання етилованого бензину, що призводить до додаткового забруднення сполуками свинцю, а використання високосірчаного дизельного палива підвищує димність і вміст сірки в газах. Безпроводна або бездротова сенсорна мережа складається з сенсорних вузлів, які щільно розгорнуті, таким чином, що кожен вузол має датчик, процесор, передавач і приймач. Ці вузли є недорогими малопотужними і багатофункціональними пристроями для виконання різних завдань зондування. БСМ в основному працюють у відкритій і некерованій зоні. На сьогодні вони відіграють важливу роль в різних сферах діяльності людини, наприклад, моніторингу загазованості міської території, військовому спостереженні, управлінні виробничими процесами і т.д..

2. Для реалізації сенсорного вузла системи моніторингу загазованості, надзвичайно важливо визначити основні вимоги до таких вузлів. Аналіз існуючих безпроводних сенсорних мереж дав змогу виокремити такі основні вимоги до їхніх вузлів: забезпечення максимальної тривалості життєвого циклу мережі, функціональність та мініатюрність реалізації. Відповідний сенсорний вузол можливо реалізувати за допомогою сучасних мікроконтролерних систем та давачів з відповідними енергоспоживанням та форм-фактором.

3. Розроблено структуру системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж, яка ґрунтується на модульному принципі, що забезпечує просту й негайну заміну конкретного модуля в разі виходу його з ладу і, як наслідок, підвищену надійність функціонування системи в цілому, а також безпроблемне масштабування та нарощування системи в майбутньому.

До структури системи увійшли такі складові елементи: підсистеми давачів; контролер; комунікаційний блок; сенсорний вузол; інтернет; віддалений сервер.

4. Розроблено алгоритм і блок-схему алгоритму роботи системи моніторингу загазованості території міста, які дають змогу оцінити детальний опис функціональних можливостей усіх компонентів структури системи на кожному етапі її функціонування.

5. Побудовано та досліджено інформаційну модель системи моніторингу загазованості території міста на основі інгібіторних мереж Петрі, що дають змогу дослідити динаміку роботи системи.

Результати дослідження показали, що в процесі моделювання виконуються основні принципи мереж Петрі, а отже розроблені структура та алгоритм системи моніторингу загазованості території міста є адекватною і коректно.

6. Розглянуто основні технічні характеристики програмно-апаратних засобів, обраних для реалізації сенсорного вузла системи моніторингу загазованості території міста. В якості мікроконтролерної платформи використано плату NodeMCU, що працює на базі модуля ESP8266. Для отримання даних про стан загазованості обрано давач MQ-2.

7. Розроблено програмне забезпечення сенсорного вузла. В ході розробки використовувалось інтегроване середовище розробки Arduino IDE.

Побудовано схему підключення усіх компонентів сенсорного вузла системи моніторингу. Для побудови схеми використано програмний емулятор Fritzing. Засобами Fritzing згенеровано принципову схему на основі побудованої схеми підключення.

Реалізовано макет сенсорного вузла системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж на базі побудованої схеми підключення та розробленого програмного забезпечення.

8. Представлено результати роботи системи моніторингу, а саме приклад відображення даних отриманих сенсорним вузлом з давача загазованості і переданих на сервер, у зручному для користувача вигляді графіку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Климаш Ю. В. Комплексний метод маршрутизації інформаційних потоків у самоорганізованих мережах / Ю. В. Климаш, О. М. Шпур, М. В. Кайдан // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. 2017. №885. –С.76-87.
2. Климаш Ю. В. Модель визначення метричного тензора в телекомунікаційній мережі на основі криволінійної системи координат / Ю. В. Климаш, М. В. Кайдан, Б. М. Стрихалюк // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. –2017. –№874. –С. 103-110.
3. Demydov I. The Structural-Functional Synthesis of IoT Service Delivery Systems by Performance and Availability Criteria / I. Demydov, Y. Klymash, M. Brych, M. Klymash // Internet of Things (IoT) and Engineering Applications (Canada). – 2017. – Vol. 2. – Issue 1. – P. 1-13.
4. Стрихалюк Б.М. Алгоритм максимізації часу життя сенсорної мережі з використанням концепції віртуальних вузлів / Б. М. Стрихалюк, Ю. В. Климаш, І. І. Болюбаш // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. –2016. –№849. – С. 173-178.
5. Demydov I.V. The structural-functional synthesis of cloud service delivery platform after service availability and performance criteria / I.V. Demydov, B.M. Strykhalyuk, O.M. Shpur, Mohamed Mehdi Hatri, Yu.V. Klymash// Системи обробки інформації: зб. наук. пр. / Х: Харк. ун-т Повітр. Сил ім. Івана Кожедуба – 2015. – №1(126) – С. 144-149.
6. Стрихалюк Б.М. Підвищення ефективності динамічної маршрутизації у гетерогенних сервісно-орієнтованих системах з використанням гіперболічних потоків Річчі / Б.М. Стрихалюк, Ю.В. Климаш, І.Б. Стрихалюк, Б. В. Коваль // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. –2015. –№818. –С. 189-194.

7. Klymash Y. Modified Routing Algorithms for Self-organized Networks / Yulia Klymash, Mykola Kaidan, Bogdan Strykhalyuk // Proceedings of the International Conference TCSET'2018 – Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science. –Lviv. –2018. –P. 243-246.
8. Luis J. V. Routing Protocols in Wireless Sensor Networks / J. V. Luis, A. L. Orozco, A. T. Cabrera, C. J. Abbas.// Sensors. –2009. –Vol.9. – P. 399–421.
9. Venkatesan L. A survey on modeling and enhancing reliability of wireless sensor network / L. Venkatesan, S. Shanmugavel, C. Subramaniam // Wirel. Sens. Netw. –2013. –P. 41-51.
10. Senouci, M. R. Performance evaluation of network lifetime spatial-temporal distribution for WSN routing protocols. / M. R. Senouci, A. Melouk, H. Senouci, A. Aissani // Netw. Comput. Appl. Elsevier. 2012, № 35. P. 1317–1328.
11. Zonouz, A. E. Application communication reliability of wireless sensor networks supporting Kcoverage. / A. E. Zonouz, L. Xing, V. M. Vokkarane, Y. Sun // Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems. Cambridge, MA, USA. 2013. P. 430–435.
12. Кучеренко І. М. Право державної власності. / І. М. Кучеренко, ред. Ю. С. Шемшученко // Великий енциклопедичний юридичний словник. –2007. –С. 673.
13. Ефремов В. В. «Энергосбережение» и «энергоэффективность»: уточнение понятий, система сбалансированных показателей энергоэффективности / В. В. Ефремов, Г. З. Маркман // Известия Томского политехнического университета. –2007. –Т. 311, № 4. –С. 146– 148.
14. Vullers R. R. Micropower energy harvesting / R. R. Vullers, I. Schaijk, Doms // Solid-State Electronics. 2009. Vol. 53, №.7. P. 684 – 693.
15. Zhang H. Balancing Energy Consumption to Maximize Network Lifetime in Data-Gathering Sensor Networks / H. Zhang, H. Shen // IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst. –2009. –Vol. 20, №10. –P. 1526–1539.
16. Девяткин Е. Е. Основные направления развития информационно-коммуникационных технологий в Европе / Е. Е. Девяткин, Е. Е. Володина, А. М.

Суходольский, Т. А. Суходольская // Труды Научно-исследовательского института радио, –2012. –№2. –Р. 11-22.

17. White paper: Cisco VNI Forecast and Methodology, 2015-2020 [Электронный ресурс] –Режим доступа до ресурсу: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.html>. Title from the screen.

18. Смолянук В. Військово-промисловий комплекс / В. Смолянук, Ю. Левенець, Ю. Шаповал // Політична енциклопедія. –К.: Парламентське видавництво, 2011. –С.108

19. Интернет Вещей: Беспроводные сенсорные сети, 2014. [Электронный ресурс] –Режим доступа: http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/IEC_WP_Internet_of_Things_Wireless_Sensor_Networks_Ru_LR.pdf.

20. Lakos C. A. Object Oriented Modeling with Object Petri Nets / Charles A. Lakos // Concurrent Object-Oriented Programming and Petri Nets. – 2001. – Р. 1-37.

21. Lakos C. A. LOOPN++: A New Language for Object-Oriented Petri Nets / Charles A. Lakos, Chris Keen // Proceedings of Modelling and Simulation (European Simulation Multiconference). –Barcelona: Society for Computer Simulation, –1994. –Р. 369-374.

22. University of Hamburg. Petri Nets Tools Database Quick Overview [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/tools/quick.html>.

23. Стеценко И. В. Алгоритм имитации Петри-объектной модели / И. В. Стеценко // Математичні машини і системи. –Киев, 2012. –№ 1. –С. 154-165.

24. Стеценко И. В. Теоретические основы Петри-объектного моделирования систем / И. В. Стеценко // Математичні машини і системи. – Киев, 2011. –№ 4. – С. 136-148

25. Stetsenko, I. V. Petri-Object Simulation: Software Package and Complexity / I. Stetsenko, V. Dorosh, A. Dyfuchyn // Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2015). –Warsaw. –2015. –Р. 381-385.

26. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. / Джеймс Питерсон. – М.: Мир, 1984. – С. 264.
27. Стеценко І. В. Імітаційне моделювання систем управління засобами сіток Петрі / І. В. Стеценко, А. А. Данилюк // Вісник Черкаського державного технологічного університету. –2005. – № 3. – С. 293-295.
28. Томашевський В.М. Візуальне середовище моделювання дискретно-подійних систем / Томашевський В.М., Дифучин А.Ю. // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 18-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2016. –К.: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2016. – С. 424-425 с.
29. Stetsenko I. V. Petri-object simulation: sofware package and complexity / I. V. Stetsenko, V. I. Dorosh, A. Dyfuchyn // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Sysytems: Technology and Applications (IDAACS) – IEEE 8th International Conference . – IEEE, 2015. – Vol.1. – P. 381-385.
30. Стеценко І. В. Об'єктно-орієнтоване моделювання систем з використанням мереж Петрі / І. В. Стеценко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. –2011. – № 2. – С. 3-9. 87
31. Стеценко І. В. Технологія Петрі-об'єктного моделювання систем / І. В. Стеценко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. –2011. – № 4. – С. 25-30.
32. Стеценко І. В. Моделювання систем: навч. посіб. / І. В. Стеценко. – М-во освіти і науки України, Черк. держ. технол. Ун-т. –2010. – С. 399.
33. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для студентів спеціальностей 8.091501 „Комп'ютерні системи та мережі” / Я. С. Парамуд, В.Ф. Ємець – Львів: Вид-во НУ „Львівська політехніка”, 2003. – 28 с.
34. Тимченко А. А. Основи системного проектування та системного аналізу об'єктів. Основи системного підходу та системного аналізу об'єктів нової техніки: навч. посіб. / А. А. Тимченко. – Київ : Либідь, 2004. – 288 с.
35. Murata T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications / Tadao Murata // Proceedings of the IEEE. – 1989. – Vol. 77, No. 4. – P. 541-580.

36. Зайцев Д. А. Инварианты временных сетей Петри / Д. А. Зайцев // Кибернетика и системный анализ. – 2004. – № 2. – С. 92-106.
37. Покойова І. Ю. Інформаційна модель системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж. // І. Ю. Покойова // Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі: Матеріали ІІ науково-практичної конференції молодих вчених і студентів. –Тернопіль. –2019. –Ч.1. –С. 36.
38. Стеценко І. В. Імітаційне моделювання системи управління навчальним процесом ВНЗ з використанням об'єктно-орієнтованого підходу / І. В. Стеценко // Математичні машини і системи. – Київ, 2011. – № 2. – С. 162-170.
39. Стеценко І. В. Петрі-об'єктна модель системи управління транспортним рухом / І. В. Стеценко // Вісник НТУУ "КПІ". Інформатика, управління та обчислювальна техніка : Зб. наук. пр. – Київ : ВЕК+, 2011. – № 54. – С. 116-125.
40. Fishman G. Discrete-Event Simulation: Modeling, Programming, and Analysis / George S. Fishman. – Berlin : Springer-Verlag, 2001. – P. 537.
41. Stetsenko I. V. Web application for visual modeling of discrete event systems / I. V. Stetsenko, A. Dyfuchyn, K. Leshchenko, D. John // Internet Technologies and Applications, ITA 2017 – Proceedings of the 7th International Conference. –P. 86-91
42. От интернета людей – к интернету вещей. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.iksmedia.ru/articles/4926341-Otinterneta-lyudej-k-internetu-ves.html#ixzz4BQq6t4zH>.
43. Работа с ESP8266: Собираем компилятор и пишем первую прошивку. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://geektimes.ru/post/241842/>.
44. ESP8266 – подключение и обновление прошивки. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://esp8266.ru/esp8266-podkluchenie-obnovlenie-proshivki/>.
45. ESPlorer. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://esp8266.ru/esplorer/>.
46. Загрузить файлы документации, datasheet, прошивки, утилиты. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://esp8266.ru/downloads/>.

47. Распиновка ESP8266, различные модификации модулей на базе ESP8266. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://esp8266.ru/modules-esp8266/>.

48. Конфигурируемые процессоры Xtensa фирмы Tensilica для встраиваемых систем. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.kite.ru/articles/elcomp/2009_10_66.php.

49. Умный офис Microsoft, [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://news.microsoft.com/ru-ru/features/smart-officemicrosoft-russia/>.

50. Умное страхование. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.in-touch.ru/land/cascosmart/>.

51. Система, которая состоит из датчиков и программного обеспечения Proteus Discover. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.proteus.com/>.

52. Покойова І. Ю. Сенсорний вузол системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж / І. Ю. Покойова, Б. О. Іваніцький // Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі: Матеріали ІІ науково-практичної конференції молодих вчених і студентів. –Тернопіль. –2019. –Ч.1. –С. 35.

Додаток А

Програмний код розробленого сенсорного вузла

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>

WiFiClient client;
String thingSpeakAddress= "http://api.thingspeak.com/update?";
String writeAPIKey;
String tsfield1Name;
String request_string;
HTTPClient http;

void setup()
{
  WiFi.disconnect();
  WiFi.begin("WSN_net", "*****");
  while (!(WiFi.status() == WL_CONNECTED)){
    delay(300);
  }
}

void loop()
{
  if (client.connect("api.thingspeak.com",80)) {
    request_string = thingSpeakAddress;
    request_string += "key=";
    request_string += "2NY8WRNBJUMTRZ3C";
    request_string += "&";
```

```
request_string += "field1";  
request_string += "=";  
request_string += analogRead(A0);  
http.begin(request_string);  
http.GET();  
http.end();  
}  
delay(3000);  
}
```

Додаток Б

Копії публікацій

Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

**II НАУКОВО-ПРАКТИЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ І СТУДЕНТІВ
«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ КОМП'ЮТЕРНІ
СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ»
Частина 1.**

14 листопада 2019 р.

Тернопіль - 2019

<i>Осадчук М. А.</i> Застосування інформаційних технологій в теорії ігор	23
<i>Сасюк В.А.</i> Використання HART протоколу в автоматичних системах управління технологічним процесом	24
<i>Янч В.С.</i> Модель підсистеми контролю електромагнітного забруднення системи "розумного" будинку	25
<i>Янч В.С.</i> Макет підсистеми контролю електромагнітного забруднення системи "розумного" будинку	26
<i>Баданін Р.В.</i> Основні етапи процесу розпізнавання автомобільних номерів	27
<i>Тимошенко Л.М., Пейчев \.І.</i> Спосіб розміщення засобів технічного захисту інформації на основі генетичного алгоритму	28
<i>Бодров О. М.</i> Абстрактна операційна специфікація форматування даних eJSON (extended JavaScript Object Notation)	29
<i>Гулька О.О., Славський А.М.</i> Захист конфіденційної інформації в телемедицині	30
<i>Трифорова К.О., Янч М.М.</i> Мессенджер на основі методу передачі інформації в ICMP-пакетах	31
<i>Гураль Д.В., Гураль І.В.</i> Алгоритм реалізації методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних динамічних моделей із застосуванням алгоритму бджолої колонії	32
<i>Крохін А.Ю.</i> Методи автоматичної побудови онтологій	33
<i>Крохін А.Ю.</i> Алгоритми пошуку схожих документів	34
<i>Покойова І.Ю., Іваніцький Б.О.</i> Сенсорний вузол системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж	35
<i>Покойова І.Ю.</i> Інформаційна модель системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж	36
<i>Каліновський Р.М., Івашків М. А.</i> Програмно-апаратні технології навігації робото-технічної системи	37
<i>Бучковський Р.В.</i> Використання нейромереж для обчислення потоків даних	38
<i>Бучковський Р.В.</i> Алгоритм обчислення суми квадратних різниць з використанням технології CUDA	39
<i>Берегуля Ю.Р.</i> Вимоги до структури і функцій систем збереження просторових даних	40

СЕНСОРНИЙ ВУЗОЛ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАГАЗОВАНOSTІ ТЕРИТОРІЇ МІСТА НА ОСНОВІ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Вступ. Безпроводна або бездротова сенсорна мережа (БСМ) складається з сенсорних вузлів, які щільно розгорнуті, таким чином, що кожен вузол має датчик, процесор, передавач і приймач. Ці вузли є недорогими малопотужними і багатофункціональними пристроями для виконання різних завдань зондування. Сенсорні вузли розгорнуті по всій області для моніторингу певних подій (загазованості, температури і т.п.) в реальних умовах. БСМ в основному працюють у відкритій і некерованій зоні. На сьогодні вони відіграють важливу роль в різних сферах діяльності людини, наприклад, моніторингу загазованості міської території, військовому спостереженні, управлінні виробничими процесами і т.д.[1].

Постановка задачі. Для реалізації сенсорного вузла системи моніторингу загазованості, надзвичайно важливо визначити основні вимоги до таких вузлів. Аналіз існуючих БСМ дав змогу виокремити такі основні вимоги до їхніх вузлів: забезпечення максимальної тривалості життєвого циклу мережі, функціональність та мініатюрність реалізації. Відповідний сенсорний вузол можливо реалізувати за допомогою сучасних мікроконтролерних систем та давачів з відповідними енергоспоживанням та форм-фактором.

Основний матеріал. Виходячи з основних вимог до сенсорного вузла, в якості керуючого обчислювального елемента було обрано мікроконтролерну платформу NodeMCU, а в якості аналізатора загазованості – давач MQ2.

NodeMCU – це платформа з відкритим вихідним кодом для IoT (інтернет речей) на базі мови eLua. Вона включає в себе прошивку і плату розробника, робота яких ґрунтується на модулі ESP-12, завдяки чому платформа здатна приймати та передавати дані у локальну комп'ютерну мережу та інтернет через Wi-Fi.

Дачач газу, на основі алізатора газу MQ2 дає змогу виявити у повітрі вуглеводневі гази (пропан, метан, н-бутан), дим (зважені частинки, що є результатом горіння), водень. Вихідним результатом роботи дачача є аналоговий сигнал, що пропорційний вмісту газів, до яких є чутливим алізатор газу. Також чутливість дачача можна легко налаштувати за допомогою спеціального тріммера розташованого на платі дачача.

Дані з дачача MQ2 опрацьовуються сенсорним вузлом та надсилаються за допомогою API на ресурс Thingspeak через інтернет, де здійснюється їхнє зберігання, а також відображення динаміки загазованості спостережної території у зручному користувацькому веб-інтерфейсі [2].

Висновки. Розроблено сенсорний вузол системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж. Для реалізації сенсорного вузла використано мікроконтролерну платформу NodeMCU та аналізатор загазованості на базі дачача MQ2. Використання даного апаратного забезпечення дало змогу досягнути ключових вимог, висунутих до сенсорних вузлів, а саме: невеликий розмір, невисоке енергоспоживання та припустимі вартість і простота реалізації сенсорного вузла для системи моніторингу.

Список літератури

1. Boreiko O. Y., Teslyuk V. M., Chorna I. Analysis and prospects of smart city technology development. Innovative education as a constituent part of the smart city. Series of monographs Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts Katowice School of Technology. Monograph 14. 2017. P. 60–70.
2. Boreiko O. Y., Teslyuk V. M., Zelinsky A., Berezhsky O. Development of models and means of the server part of the system for passenger traffic registration of public transport in the "smart" city. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 1, Issue 2 (85). P. 40–47.

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАГАЗОВАНOSTІ ТЕРИТОРІЇ МІСТА НА ОСНОВІ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Вступ. Інформаційна модель – формалізована, взаємопов'язана сукупність ідентифікованих та інформаційно визначених параметрів, що відображає не тільки основні властивості об'єктів моделювання, але і найбільш істотні відношення між ними і навколишнім середовищем. Інформаційна модель забезпечує формалізоване представлення використовуваних даних і їх взаємозв'язків. Така модель включає предметний і системний рівні опису. Предметний рівень призводить до побудови предметної інформаційної моделі об'єкта. Системний рівень призводить до побудови інформаційної конструкції як узагальнення даного об'єкта і близьких йому об'єктів в системі навколишнього світу [1].

Постановка задачі. Інформаційна модель системи зручно описується мережею Петрі. Представлення системи засобами мереж Петрі здійснюється з метою подальшого аналізу цих мереж для отримання важливої інформації про структуру та динаміку модельованого об'єкта. Отримана інформація може бути використана для розробки, оцінки або вдосконалення модельованої системи. Відповідно задачею дослідження є розробка та аналіз інформаційної моделі системи моніторингу загазованості території міста на основі мереж Петрі.

Основний матеріал. Особливим різновидом мереж Петрі є інгібіторні мережі, які на додаток до звичайних дуг графа мережі містять “забороняючі”, так звані інгібіторні дуги [2]. Така дуга забороняє активацію переходу при наявності достатньої кількості міток у вхідних вершинах звичайних дуг до тих пір, поки в її вхідній вершині є мітки. Модель на основі інгібіторних мереж Петрі описується виразом (1).

$$F_{ing} = \{F_{ing_1}, F_{ing_2}, \dots, F_{ing_k}\} \quad (1)$$

Загальна кількість всіх дуг інгібіторної мережі може бути представлена виразом (2).

$$l + m + k = n \quad (2)$$

де l – кількість вхідних дуг; m – кількість вихідних дуг; k – кількість інгібіторних дуг мережі.

Розроблена на базі інгібіторних мереж Петрі модель системи моніторингу загазованості території міста дає змогу дослідити та здійснити детальний аналіз усіх основних інформаційних процесів, що у ній відбуваються. Використання інгібіторних мереж Петрі дало можливість спростити структуру інформаційної моделі, що призвело до зменшення обчислювальних ресурсів, необхідних для реалізації моделі з використанням персонального комп'ютера.

Висновки. Побудовано інформаційну модель системи з використанням засобів математичного апарату інгібіторних мереж Петрі. Результати дослідження показали, що в процесі моделювання дотримано усіх основних принципів мереж Петрі, а отже побудована інформаційна модель системи моніторингу загазованості території міста є адекватною і коректною. Розроблена модель може бути використана для програмно-апаратної реалізації системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж.

Список літератури

1. Boreiko O., Teslyuk V. Information Model of the Control System for Passenger Traffic Registration of Public Transport in the "Smart" City. Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2017). Lviv, Ukraine, September 2017. P. 113-116.

2. Boreiko O., Teslyuk V. Model of data collection controller of automated processing systems for passenger traffic public transport «smart» city based on Petri nets. Proceeding of the 2nd International Conference on “Advanced Information and Communication Technologies”, (AICT2017). Lviv, 2017. P. 62-65.

Додаток В

Довідка про впровадження результатів випускної кваліфікаційної роботи

Зав. кафедри

комп'ютерної інженерії

д.т.н., проф. О.М. Березькому

ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

Виконана студенткою групи КІм-21 факультету комп'ютерних інформаційних технологій Тернопільського національного економічного університету Покойовою І.Ю. магістерська кваліфікаційна робота та тему «Інформаційна модель системи моніторингу загазованості території міста на основі безпроводних сенсорних мереж» відповідає замовленню підприємства «Вітрило» має певну практичну значимість і планується до впровадження.

Директор підприємства «Вітрило» _____ Покойовий В. Д.
(підпис)

М.П.