

Кононова І.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Самусь Д.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ ВАРІАНТУ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО СМАРТ ПАРКІНГУ НА ОСНОВІ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

Стаття присвячена аналізу варіанту розробці інтелектуального паркування (смарт-паркінгу) за допомогою безпроводової сенсорної мережі, дана тема залучає все більше уваги у світі сучасних технологій, розумне паркування використовує передові технології та інновації для поліпшення ефективності паркування. Щільність паркування в місті може бути обмеженням для перепланування міста і може призвести до збільшення транспортних засобів, а також до скорочення громадського транспорту. Визначено, що ліквідація непотрібних паркувальних зон є першочерговим завданням для розумних міст для створення кращого міського планування. Якщо водії матимуть доступ до інформації про наявність місць для паркування в режимі реального часу вони зможуть скоригувати свій графік поїздки не витрачаючи час на пересування містом у пошуку.

Смарт паркінг – це спосіб допомогти водіям ефективніше знаходити зручні місця для паркування за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій. Водії можуть скоротити час пошуку місця для паркування час пошуку місця для паркування, зменшити забруднення навколишнього середовища, знизити витрати за рахунок меншим споживанням пального та зменшити затори на дорогах завдяки завдяки інформації з додатків для розумного паркування. Більше того, розгортання смарт паркінгу передбачає розгортання багатьох датчиків у містах і подолання поточних проблем з управлінням датчиками, що може стати провідною парадигмою розумних міст.

В статті запропоновано варіант рішення смарт паркінгу яке буде базуватися на безпроводових мережах та інших сучасних технологіях. Такі паркінги забезпечують можливість моніторингу та керування парковочними місцями в режимі реального часу, що дозволяє забезпечити оптимальне використання місць для паркування та уникнути заторів.

Зв'язок цієї проблеми з науковими та практичними завданнями полягає у тому, що розробка ефективних технологій управління паркуванням може допомогти зменшити транспортні затори та забезпечити більш ефективне використання міських територій. Крім того, це може сприяти економічному розвитку міст.

Ключові слова: смарт паркінг, безпроводові сенсорні мережі, енергозбереження, надійність пристроїв, датчики освітлення.

Постановка проблеми. Дослідження у галузі інтелектуального паркування на основі безпроводової сенсорної мережі (БСМ) проведені різними авторами з усього світу. Ці дослідження зазвичай мають на меті зменшення трафіку в місті та полегшення паркування для водіїв, а використання БСМ у розумних системах паркування дозволяє збирати та обробляти інформацію в режимі реального часу. Одним з ключових елементів смарт паркінгу на основі БСМ є сенсорні вузли, які розміщуються на кожному парковковому місці та надсилають дані про наявність або відсутність автомобіля на цьому місці до центрального вузла. Для покращення ефективності системи викорис-

товуються різні алгоритми та методи, включаючи машинне навчання, оптимізацію маршрутів та управління потоками транспорту.

Однак, ці системи все ще потребують подальшої оптимізації та розширення функціональності, так як паркування залишається важливою проблемою для багатьох міст.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах [1, 2] описується система паркування, яка використовує сенсорні мережі з метою збільшення ефективності та швидкості процесу паркування. Система складається з трьох основних компонентів: сенсорів, базової станції та мобільного додатку. Сенсори розміщуються на дорогах

та відстежують наявність вільних парковочних місць, передаючи дані до базової станції. Дані, зібрані базовою станцією, аналізуються з використанням алгоритмів машинного навчання, щоб визначити, де саме є вільні місця для паркування. В статтях [2, 3] розглянуто систему паркування, яка використовує безпроводові сенсорні мережі з метою зменшення трафіку та покращення ефективності паркування в містах. Система складається зі сенсорів, які розміщуються на дорогах, машинах та на базовій станції. Найчастіше в роботах розглядаються типові системи управління паркуванням які відстежують кількість автомобілів, що проїжджають через точки в'їзду і виїзду, для оцінки вільних місць на парковці. Система, описана в [4] зосереджена на таких питаннях, як підключення, зондування та продуктивність мережі. У роботах [5–8] запропоновано системи паркування на основі БСМ, де кожна з цих робіт досліджує можливість використання різних типів сенсорів. Вони також пропонують різні механізми маршрутизації для передачі даних від джерела до приймача. Більшість існуючих систем розглядають схему, в якій дані зібрані з декількох сенсорів, аналізуються центральною станцією і відображаються в стратегічних точках, щоб допомогти користувачеві. Однак запропоновані рішення є складними в реалізації та не є економічними й енергоефективними.

В даній роботі проаналізовано та запропоновано варіант використання інтелектуальної системи управління паркуванням автомобіля з використанням БСМ економічно ефективним та енергоефективним способом.

Виклад основного матеріалу. Представимо варіант використання послуги смарт паркінгу з оперативної та адміністративної точки зору включаючи учасників. На рис. 1 запропоновано варіант підтримки послуг з різних джерел, а також збір даних про паркування та управління ними. Для підтримки такого сервісу в режимі реального часу звичайні системні архітектури не можуть задовольнити потреби водіїв.

Тому необхідно переглянути систему з різних точок зору, як екосистему розумного паркування. Екосистема розумного паркування включає в себе два потоки:

1. Транспортний потік (відбувається на шляху пошуку парковки) – водії автомобілів отримують інформацію про наявність вільних місць для паркування і направляються до зони паркування і можуть зайняти вільне місце. Поведінка водіїв під час паркування залежить від інформації якою

вони володіють) – після паркування водіїв інформація про наявні вільні місця повідомляється іншим водіям, які шукають вільне місце.

2. Інформаційний потік (інформація про паркування від моменту її виявлення датчиками до моменту, коли вона з'явиться на терміналі водія). Для отримання статусу зайнятості паркувальних місць, на вуличних парковках встановлюються датчики, які фіксують події пов'язані з транспортними засобами. Датчики утворюють мережу та надсилають актуальну інформацію на пристрої зберігання, наприклад зі знаків змінної інформації або зі своїх мобільних пристроїв, які обмінюються повідомленнями з дорожньою інфраструктурою чи базовими приймально-передавальними станціями.

На даний час існує багато проєктів та додатків, однак не всі водії отримують вигоду від смарт паркінгу, тому виникає потреба в удосконаленні технології з різних точок зору. Наприклад, сенсорні пристрої є вбудованими системами, що перетворюють отримані дані в корисну інформацію та оцінюють свій термін служби або несправності для подальшого інформування системного адміністратора про будь-яку проблему.

Смарт паркінг використовує сенсорну інформацію щоб в режимі реального часу надавати інформацію про вільні місця. Система має ефективно відфільтровувати інформацію щодо паркування до інтересів водіїв, якщо інтереси є не чітко визначені то система має швидко адаптуватись для забезпечення високого рівня якості послуг. А існуючі додатки для смарт паркінгу надають однакову інформацію всім учасникам дорожнього руху, але дані про наявність вільних місць для паркування в режимі реального часу корисне лише при близькому знаходженні до паркування. Отже, інформація повинна надаватись з урахуванням їх мобільності та місцезнаходження:

1. Невизначеність поведінки водіїв та їх пересування. Поведінка водіїв пов'язана з інформацією яку вони отримують від інтелектуальних систем паркування, а також власним плануванням поїздки. Отримання даних про водіїв та їх поведінку можна було зрозуміти лише з інформації про оплату але завдяки розгортанню датчиків у місті стає можливим аналізувати дані та проводити моделювання.

2. Виявлення присутності автомобіля. Представимо різні датчики та способи їх розгортання та розкриємо спосіб виявлення краудсорсингу. Все більше додатків для паркування намагаються збирати інформацію про паркування не розгортаючи

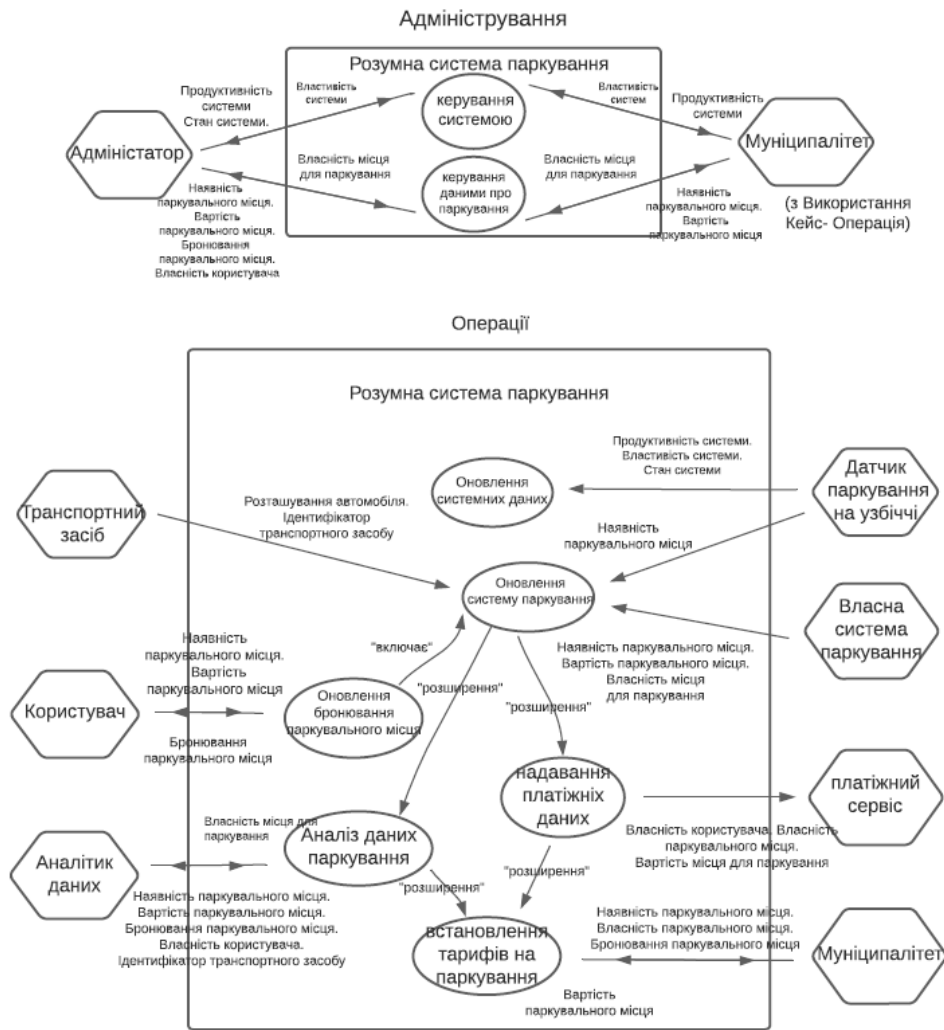


Рис. 1. Варіант використання послуги розумного паркування

тисячі датчиків у місті і більшість цих датчиків передають отриману інформацію через 802.15.4 для швидкого встановлення без підписки на послуги мобільних операторів. Безпроводова сенсорна мережа розширює можливості сенсорів, але в основному на протоколи і продуктивність мережі (час життя датчика, затримка) зв'язку короткого радіусу дії.

Інформаційне зондування покладено на датчики для збору інформації про наявність місць для паркування в реальному часі. Стационарні та мобільні датчики є двох типів. Перший інтуїтивно додає зондування на паркувальних місцях, коли статус зайнятості змінюється, датчик може виявити присутність або відсутність транспортного засобу та оновити інформації за короткий час, наприклад використання SFpark дозволяє отримувати 85% подій протягом 60 секунд на мережах датчиків парковок. Мобільні датчики використовують мобільність транспортного засобу для

збору інформації вздовж маршруту за допомогою меншої кількості датчиків. Такі датчики можуть визначати стан зайнятості коли автомобіль проїжджатиме через місце для паркування, в такому випадку інформація може не оновлюватися протягом тривалого часу, наприклад ParkNet. ParkNet збирають дані з GPS приймачів та ультразвукових датчиків, а потім передають їх через стільниковий зв'язок на центральний сервер. Така мобільна система датчиків паркування потребує значно менших втрат на встановлення, але потребує більшого часу між опитуваннями, наприклад 30 хвилин для 85% комірок у центрі міста де може працювати понад 200 транспортних засобів [9].

3. Різні датчики мають різні способи виявлення присутності транспортного засобу. Пасивні інфочервоні датчики приймають тепло, випромінюване тілом людини і використовуються сумісно з іншими датчиками для виявлення знаходження водія, чи припаркувався водій та чи

вийшов з машини. Інфочервоні датчики вимірюють відстань до переходу попереду але є дуже чутливими до сонця і зовнішніх об'єктів навколишнього середовища, тому точність вимірювання не є високою. На відміну від інфочервоних, ультразвукові датчики використовують звук і краще працюють в великих містах. Такі датчики використовують високочастотні звукові хвилі для вимірювання відстані до об'єкта. Коли хвиля відбивається від об'єкта, датчик отримує ехо-сигнал, який може бути використаний для визначення відстані та форми об'єкта. Однією з переваг ультразвукових датчиків є їх здатність працювати в різних умовах, включаючи туман, пил, темряву та можуть використовуватись для обох сценаріїв, як для рухомого так і мобільного. Оскільки транспортні засоби є досить великими об'єктами то за допомогою оптичних датчиків, які визначають зміну освітленості можуть бути використані для визначення припаркованого автомобіля. Оптичні датчики необхідно встановлювати там де світло може затуляти припаркований транспортний засіб. Однак оптичні датчики вразливі до джерел світла та швидких об'єктів тому у них низька точність. Для точного виявлення паркування автомобіля пропонується використання стаціонарного датчика – магнітометра, оскільки він вимірює поточні магнітні поля і виявляє присутність великих металевих об'єктів.

4. Камери [10] та акустичні датчики [11] дають набагато складнішу картину сигналу, ніж ультразвукові, вони вимагають обробки зображень і гідроакустичних сигналів для того, щоб виділити потрібну інформацію з фонового шуму. Індуктивні петлі та п'єзоелектричні датчики є контактними і можуть бути встановленими на дорожньому покритті. Технологія індуктивних петель визначає, чи проїжджає транспортний засіб, а п'єзоелектричні датчики схожі на індуктивні петлі однак здатні зчитувати більш детальну інформацію з тиску, що чиниться на нього. Такі контактні датчики потребують інтрузивного встановлення, і вони легко зношуються через їх частого використання.

Для побудови 2/3D карти, особливо для сприйняття навколишнього середовища необхідно використовувати лазерний далекомір який зазвичай встановлюється на транспортних засобах він випромінює лазерний промінь для визначення відстані до різних об'єктів, щоб дізнатися чи є там припарковані транспортні засоби. Найекономічніший спосіб отримання інформації про наявність місць для паркування є мобільний краудсорсинг.

Однак, це може призвести до проблем з конфіденційністю, якщо смартфони автоматично збирають дані від користувачів за допомогою, Bluetooth, WiFi, 3D-компасу, а потім оновлює їх у загальнодоступній базі даних [12].

Для зручності на паркувальних місцях можуть встановлюватись QR-коди, щоб допомогти водіям ідентифікувати та оплатити свої паркувальні місця. Коли водій закінчує сесію паркування, система повідомить, що його паркувальне місце тепер доступне для інших водіїв. Однак ця система не може контролювати, чи оплачують водії свої паркувальні місця, оскільки QR-коди не можуть виявити присутність транспортних засобів.

Після встановлення мережевих датчиків на паркувальних місцях, вони можуть об'єднатися в мережу, щоб надсилати свої повідомлення. Розглянемо два способи зв'язку: ближнього радіусу дії, такі як Bluetooth/BLE, 802.11ah (Wi-Fi HaLow) і Zigbee/ZWave/ DigiMesh, та дальнього радіусу дії, такі як Sigfox, LoRa, Weightless, Ingenu та NB-IoT/LTE-M [12].

Зв'язок на великі відстані використовує переваги існуючої мережі радіодоступу і може зв'язуватися з інфраструктурою в будь-який час і в будь-якому місці. Зв'язок на малих відстанях часто реалізується за допомогою безпроводових сенсорних мереж (BSM), де повідомлення повинні бути повторно передані кілька разів через ретранслятори, наприклад, через паркомати або інші датчики, поки вони не досягнуть міської інфраструктури міста. Дослідження в області BSM тривають багато років, але лише деякі з них були оцінені в контексті міського паркування, враховуючи час життя, затримку інформації та обмеження щодо якості безпроводового зв'язку.

Малопотужна глобальна мережа (LPWAN – Low-power Wide-area Network): враховуючи, що велика функціональність 3G/4G не є необхідною для мережевих сенсорних пристроїв, безпроводовий зв'язок великого радіусу дії повинен бути адаптований до ринку інтернет речей (IoT). Стільниковий IoT, розроблено для LPWAN і завдяки сумісності з існуючими стільниковими мережами додаткова інфраструктура не потрібна [13].

Однак, на відміну від LPWAN, BSM не потребує щомісячної абонплати за кожен датчик але затримка та енергоефективність мережі є основною проблемою. Реалізація системи управління смарт парковкою і порівняння ефективності використання енергії та витрат при розгортанні BSM, а також при збільшенні кількість сенсорних вузлів, показало, що смарт-сенсори можуть

споживати менше енергії. А при оснащенні сенсорного вузла Zigbee, Bluetooth або WiFi, показало, що з точки зору часу життя сенсора і максимальної кількості підключених вузлів у BCM Zigbee є найкращим вибором [14].

Отже, на основі викладеного матеріалу опишемо варіант удосконаленої архітектури системи її роботу та опишемо експериментальне налаштування. На рис. 2 представлено архітектуру запропонованої системи та центральної наглядової станції (ЦНС) або диспетчерської станції, що складається з компонентів, як показано на рис. 3.

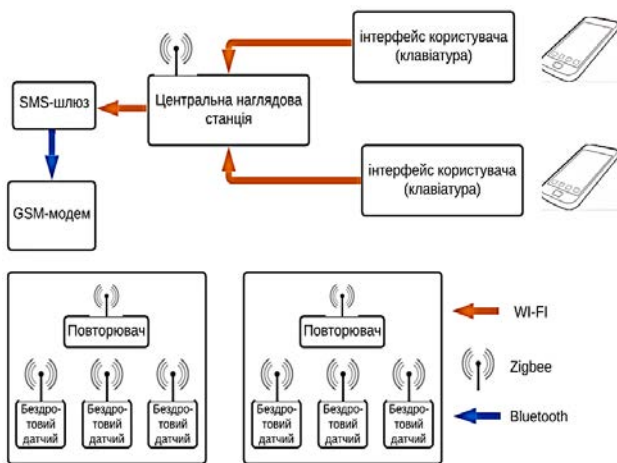


Рис. 2. Варіант архітектури системи



Рис. 3. Компоненти центральної наглядової станції

Конструкція системи відповідає ієрархічній архітектурі, кожен датчик-мітка розміщується у паркувальному слоті, а сукупність таких слотів утворює кластер і взаємодіє з головним кластером. З точки зору кластерності слоти ідентичні але відрізняються за функціоналом. Ці кластери передають інформацію до ЦНС.

Розглянемо роботу запропонованої системи. Коли автомобіль заїжджає на парковку, на в'їзді знаходиться дисплей з клавіатурою де водій вводить свій мобільний номер. Після введення

номера надсилається інформація щодо ідентифікатора найближчого вільного паркомісця. Водій також отримує інформацію про ідентифікатор найближчого вільного паркувального місця через SMS-повідомлення. Система паркування з'єднана з GSM-модемом, що полегшує відправлення SMS. SMS-шлюз на основі java в ЦНС забезпечує необхідну функціональність, для надсилання SMS.

Коли транспортний засіб припаркований у визначеному місці, на диспетчерську надсилається сигнал, що запускає таймер для відповідного слоту. База даних паркоматів, що надсилається на центральну диспетчерську станцію, постійно оновлюється інформацією про зайнятість паркомісць та відповідними мобільними номерами користувачів, це прив'язує паркувальне місце до транспортного засобу. Коли транспортний засіб лишає паркувальне місце, на ЦНС надсилається сигнал, який зупиняє таймер для цього паркувального місця. Значення таймера відповідає тривалості часу, протягом якого транспортний засіб був припаркований. Центральна станція аналізує в базі даних ідентифікатор мітки ID, що міститься в отриманому пакеті і надсилається SMS-повідомлення абоненту SMS-повідомлення з інформацією про час паркування та суму рахунку.

Також датчики, встановлені у паркувальних місцях, періодично зв'язуються з ЦНС для контролю стану акумулятора датчика. Пропонується кожне паркувальне місце обладнати мікроконтролером на базі 8051, оснащеним датчиком освітленості для виявлення присутності/відсутності автомобіля.

Датчик відстежує, як довго транспортний засіб був припаркований був і надсилає цю інформацію про час до головного кластеру, який, в свою чергу, надсилає її до ЦНС. Для передачі даних і зв'язку між слотами використовується стандарт IEEE 802.15.4 (протокол Zigbee). Білінгова інформація для виставлення рахунків обчислюється в ЦНС на основі даних, отриманих від датчиків. Датчик також надсилає статус доступності слоту на ЦНС який відображається на відповідному графічному інтерфейсі, як показано на рис. 4.

У запропонованій системі прийнята ієрархічна схема комунікації, це дозволить зменшити енергетичні проблеми, з якими зазвичай стикаються в при стратегії маршрутизації. Набір датчиків групується в кластер, після чого вони пересилають свої дані на призначений кластер, розміщений на зручній відстані як від ЦНС, так і від окремих датчиків на паркувальній зоні. Головний кластер просто ретранслює дані, що отримується від датчиків, до ЦНС, яка є потужним процесором



Рис. 4. Інтерфейс пульта централізованого спостереження

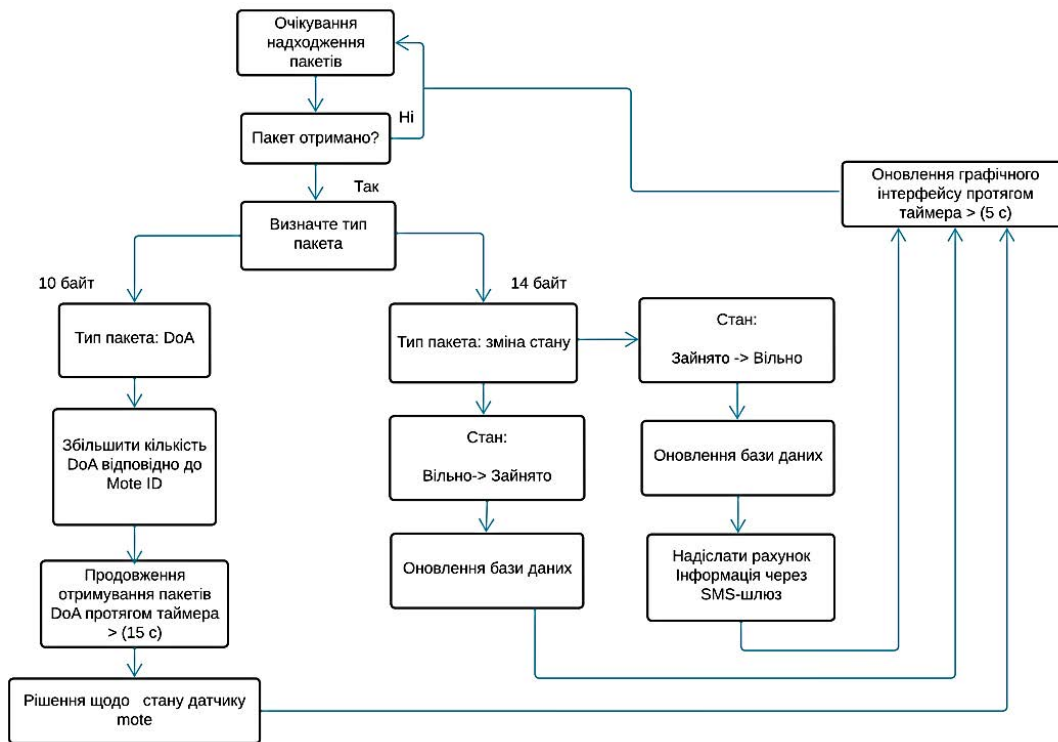


Рис. 5. Блок-схеми роботи системи на ЦНС

здатним підтримувати базу даних та інтерфейси з GSM-модемом.

Варіант впровадження блок-схеми роботи системи на ЦНС та на сенсорній мітці показані на рис. 5 та рис. 6 відповідно. Для визначення наявності/відсутності транспортного засобу на паркувальному місці пропонується використовувати метод вимірювання освітленості за допомогою датчика освітленості. Для того, щоб переконатися, що світло падає тільки в нормальному напрямку, розміщуємо датчик в центрі паркувального місця

у фізичному корпусі під поверхнею землі, для запобігання фізичних пошкоджень.

Коли транспортний засіб проїжджає біля датчика, кількість навколишнього світла змінюється. Використовуючи цей принцип і порівнюючи інтенсивність світла з відповідним пороговим значенням, приймається рішення про те, чи припаркований транспортний засіб. Адаптивний алгоритм порогового значення використовується для встановлення світлового порогового значення на основі поточних умов освітлення.

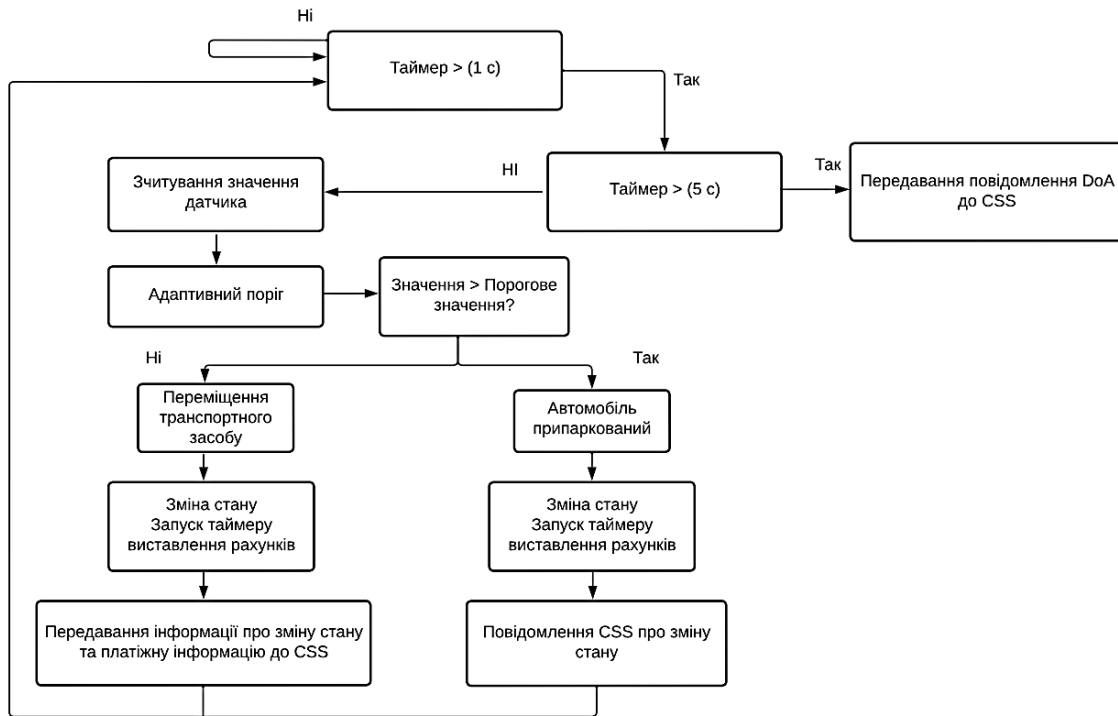


Рис. 6. Діаграма потоку на сенсорній мітці

У паркувальному майданчику умови освітлення не залишаються незмінними протягом певного періоду часу, тому необхідно застосувати адаптивний алгоритм порогових значень завдяки якому система адаптується до змінних умов освітлення. Датчик відстежує і записує показники освітленості протягом фіксованого інтервалу часу. Записані дані усереднюються і порівнюються з попереднім пороговим значенням, що робить систему інтелектуальною і дозволяє їй адаптуватися до змінних умов освітлення навколишнього середовища.

Для визначення та контролю енергозбереження, проведено відстежування рівня заряду батареї на сенсорному датчику за шляхом вимірювання потенціалу напруги батареї і передаючи ті ж самі показники в аналого-цифровий перетворювач. Як тільки потенціал напруги батареї досягає 0,9 В [13], індикація низького заряду батареї передається до ЦНС. ЦНС оновлює дані у своїй базі та відображає стан низького заряду батареї на графічному інтерфейсі.

Для того, щоб ЦНС відстежував стан батареї датчика необхідно передбачити передачу сигналу кожні 5 секунд. Інформація про всі датчики зберігаються в базі даних у ЦНС, а рішення про працездатність приймається шляхом усереднення трьох послідовних зчитувань.

Радіопередача інформації на сенсорні датчики споживає найбільше енергії батареї, щоб змен-

шити надмірне споживання батареї через повторні передавання пакету даних, необхідно передавати повідомлення про зайнятість тільки тоді, коли відбувається зміна стану (коли транспортний засіб заїжджає або виїжджає з паркувального місця). Таким чином, увімкнення сенсорів відбувається тільки при зміні стану, що значно зменшує енергоспоживання. Як тільки повідомлення передано у ЦНС, радіоприймач на датчику переходить у сплячий режим і увімкнеться тільки після того, як відбувається зміна стану, або коли потрібно передати повідомлення про заряд батареї.

Висновки. Проаналізований проєкт дозволяє продемонструвати можливість використання БСМ для смарт паркінгу. Запропонована система повністю автоматизована, енергоефективна та економічно ефективна, оскільки використовується лише один датчик освітленості з адаптивним пороговим алгоритмом який є надійним у виявленні присутності/відсутності автомобіля.

Оскільки не передбачено складних механізмів маршрутизації дана система реалізує для зв'язку з ЦНС (диспетчерською) метод широкосмугового зв'язку, який є більш простим та енергоефективним на відміну від одноадресної передачі, яка має більш високе енергоспоживання через додаткові витрати на пакети. Також запропоновано новий підхід до зв'язування слоту, часу напрямку та білінгової інформації з мобільним номером користувача через SMS.

Список літератури:

1. Ahmada W., Pervez U., Qadirb J. Reliability modeling and analysis of communication networks. *Journal of Network and Computer Applications*. 2017. № 78. P. 191–215. DOI: 10.1016/j.jnca.2016.11.008.
2. Muhammad Abidin M., Pulungan R. Systematic Review of Machine-vision-based Smart Parking Systems. *Scientific Journal of Informatics*. 2020. № 7. P. 213–227. DOI:10.15294/sji.v7i2.25654.
3. Ahmed A., Tawfeeq S., Yahia F., Husam L. An Intelligent Smart Parking System Using Convolutional Neural Network. *Journal of Sensors*. 2022. P. 78–97. DOI:10.1155/2022/7571716.
4. Hakim I., Christover D., Marinda A. Implementation of an Image Processing Based Smart Parking System Using Haar-Cascade Method. *Symposium on Computer Applications & IE*. 2019. P. 222–227. DOI: 10.1109/ISCAIE.2019.8743906.
5. Olaniyi O., Ahmed M. Developing Smart Car Parking System Using Wireless Sensor Networks. *OcRI*. 2016. P. 201–206. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-1755/201-206.pdf> (дата звернення: 7.03.2023).
5. Hasan F., Vijay P., Johan H., Roger G. Smart Parking Tools Suitability for Open Parking Lots: A Review. *International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems*. 2018. P. 599–609. DOI:10.5220/0006812006000609.
6. Hilmani A., Maizate A., Hassouni L. Designing and Managing Smart Parking System Using Wireless Sensor Networks. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2018. № 7. P. 1–20. DOI:10.3390/jsan7020024.
7. Jihoon Y., Jorge P., Teresa R. Smart parking service based on Wireless Sensor Networks. *Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*. 2012. P. 157–165. DOI: 10.1109/IECON.2012.6389096.
8. Wang Ch. Smart parking by using sensor network. *Computational algorithms and numerical dimensions*. 2022. №1. 126–129. URL: https://www.journal-cand.com/article_161804_3c2f264ed04a83a2162a5237cdaeb547.pdf.
9. Zajam, A., Dholay, S. Detecting Efficient Parking Space Using Smart Parking. *International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies*. 2018. P. 1–7. DOI: 10.1109/ICCCNT.2018.8493964.
10. Bulan O., Loce W., Wang Y., Bernal E., Fan Z. Video-based real-time on-street parking occupancy detection system. *Electronic Imaging*. 2013. №. 22 (4). P.1–15. DOI:10.1117/1.JEL.22.4.041109.
11. Farkas K., Lendak I. Simulation environment for investigating crowd-sensing based urban parking. *In Intl Conf on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*. 2015. P. 320–327. DOI: 10.1109/MTITS.2015.7223274.
12. Jung H., Cho Y., Yoon P., Kim J. Scanning laser radar-based target position designation for parking aid system. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2008. №. 9 (3). P. 406–424. DOI: 10.1109/TITS.2008.922980.
13. Maniraji R., Farahana I. Integration of Wireless Sensor Network Based Smart Parking Management System for APU. 14th International Conference on Developments in eSystems Engineering. 2021. P. 136–144. DOI: 10.1109/DeSE54285.2021.9719532.
14. Darmawan M., Hadiyoso S., Dyah I. Implementation of Low Resource Parking Information System Prototype Based on Wireless Sensor Network. *Journal of Communications* 2022. №. 17. P. 919–924. DOI: 10.12720/jcm.

Kononova I.V., Samus D.V. ANALYSIS OF THE OPTION OF IMPLEMENTING AN ENERGY-EFFICIENT SMART PARKING BASED ON A WIRELESS SENSOR NETWORK

The article is devoted to the analysis of the option of developing intelligent parking (smart parking) using a wireless sensor network, this topic is attracting more and more attention in the world of modern technology, smart parking uses advanced technologies and innovations to improve parking efficiency. The density of parking in a city can be a limitation for urban redevelopment and can lead to an increase in vehicles as well as a reduction in public transportation. It is determined that the elimination of unnecessary parking areas is a priority for smart cities to create better urban planning. If drivers have access to real-time information about the availability of parking spaces, they can adjust their travel schedule without wasting time moving around the city in search of them.

Smart parking is a way to help drivers find convenient parking spots more efficiently using information and communication technologies. Drivers can reduce the time spent searching for a parking space, reduce environmental pollution, lower costs through lower fuel consumption, and reduce traffic congestion through information from smart parking apps. Moreover, the deployment of smart parking involves the deployment of many sensors in cities and overcoming the current challenges of sensor management, which can become a leading paradigm for smart cities.

The article proposes a variant of a smart parking solution based on wireless networks and other modern technologies. Such parking lots provide the ability to monitor and manage parking spaces in real time, which allows for optimal utilization of parking spaces and avoidance of traffic jams.

The connection of this problem with scientific and practical tasks is that the development of effective parking management technologies can help reduce traffic congestion and ensure more efficient use of urban areas. In addition, it can contribute to the economic development of cities.

Key words: smart parking, wireless sensor networks, energy saving, device reliability, lighting sensors.