

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Фізико-математичний факультет
Кафедра інформатики та прикладної математики

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

_____ Соловйов В.М.
« ____ » _____ 2021 р.

Реєстраційний № _____
« ____ » _____ 2021 р.

Система автоматизованого моніторингу змагань зі спортивного орієнтування та контролю їх результатів на базі мікроконтролера

Магістерська робота студента
групи Ім-16
ступінь вищої освіти «магістр»
спеціальності 014 Середня освіта (Інформатика)
Мошкова Іллі Дмитровича

Керівник: асистент
кафедри інформатики та
прикладної математики
Степанюк Олександр
Миколайович

Оцінка:
Національна шкала _____
Шкала ECTS _____ Кількість балів _____

Голова ЕК _____
Члени ЕК _____

ЗАПЕВНЕННЯ

Я, Мошков Ілля Дмитрович, розумію і підтримую політику Криворізького державного педагогічного університету з академічної доброчесності. Запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело. Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Криворізького державного педагогічного університету ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.



ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	6
1.1. Порядок та правила проведення змагань зі спортивного орієнтування	6
1.2. Аналіз наявного на ринку апаратного й програмного забезпечення для контролю результатів змагань зі спортивного орієнтування	9
1.3. Постановка задачі.....	13
Висновки до розділу 1	13
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ЗМАГАНЬ ЗІ СПОРТИВНОГО ОРІЄНТУВАННЯ.....	16
2.1. Характеристика мікроконтролера STM32	16
2.2. Характеристика GPS модуля NEO 7M.....	17
2.3. Датчик радіоз'єднання SX1278.....	19
2.4. Модуль сканер PN532 RFID карток	22
Висновки до розділу 2	25
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ	26
3.1. Принципи роботи та будови пристрою.....	26
3.2. Програмна реалізація базової станції.....	28
3.3. Програмна реалізація серверної станції.....	34
3.4. Функціонал програмного забезпечення системи	46
Висновки до розділу 3	51
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

ВСТУП

Спортивним орієнтуванням називається вид спорту, який полягає в орієнтуванні на місцевості за допомогою карти та компасу та якнайшвидшого проходження контрольних точок, які зазвичай розташовані поблизу виразних елементів рельєфу та позначені помаранчево-білими мітками. Ці змагання розраховані на поєднання інтелекту та витривалості спортсмена. Маркування маршруту між мітками зазвичай відсутнє, тому спортсмен прокладає свій шлях самостійно. Змагання можуть мати різну тривалість, складність рельєфу та проводитись у різну годину доби чи пору року. Міжнародним олімпійським комітетом було визнано спортивне орієнтування, як окрему дисципліну[1].

Не зважаючи на стрімке зростання зацікавленості в спортивному орієнтуванні (можливість заохотити молоде покоління до спорту без потреби у спеціальній фізичній підготовці, популяризації активного відпочинку та здорового способу життя, підвищення спортивно-патріотичного розвитку держави, в Україні даному виду спорту приділяється дуже мало уваги зі сторони спортивного комітету, як результат майже відсутнє фінансування. Тому у багатьох змаганнях дані фіксуються в ручному режимі, що не дозволяє з точністю визначити результат спортсмена чи команди спортсменів. Через це виникають не точності в судейських рішеннях.

Таким чином, тема роботи є **актуальною**.

Об'єктом дослідження є моніторинг та обробка отриманих даних під час змагань спортивного орієнтування.

Предметом дослідження є створення приладу для збору і обробки даних, програмне забезпечення для моніторингу змагань зі спортивного орієнтування у структурованому вигляді.

Мета дослідження автоматизація отримання та обробки даних моніторингу змагань зі спортивного орієнтування.

Для досягнення мети слід розв'язати такі завдання:

-проаналізувати правила та процес проведення змагань зі спортивного орієнтування;

-проаналізувати та порівняти наявні технічні та програмні засоби для збору та обробки даних змагань зі спортивного орієнтування ;

-сформулювати функціональні вимоги до продукту;

-обґрунтувати вибір апаратної та програмної платформ;

-розробка апаратної та програмної частини пристрою;

-визначити структуру даних та алгоритми;

-реалізувати апаратну частину пристрою;

-реалізувати програмну частину системи моніторингу.

Новизна роботи полягає в тому, що результатом є створення прототипу приладу для отримання, обробки та коректного представлення даних у структурованому вигляді, які зможуть оприлюднюватись, як результати змагань зі спортивного орієнтування. Відповідатиме вимогам федерації спортивного орієнтування України та стане унікальним у своїй цінній категорії.

Практичне значення полягає в тому, що розроблений прилад може стати основою для виготовлення серійних пристроїв, які в подальшому будуть використовуватися під час проведення змагань зі спортивного орієнтування різного рівня.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Порядок та правила проведення змагань зі спортивного орієнтування

Спортивне орієнтування – вид спорту, в якому учасники за допомогою карти та компасу повинні якнайшвидше пройти певну кількість контрольних пунктів (КП), розташованих на місцевості, а результати визначаються за годиною проходження дистанції (у певних випадках з урахуванням штрафної години) або за кількістю набраних балів [1].

Загальний опис: основним документом, який підтверджує проходження учасником дистанції, є його картка або електронний чип (за останні роки на змаганнях дедалі більше використовується електронна відмітка). На кожному з контрольних пунктів знаходиться олівець, компостер чи станція електронної відмітки. Учасник ставить хрестик олівцем, пробиває картку компостером або прикладає чип до бази і це є доказом того, що він був на контрольному пункті. Втрата картки або чіпа учасником призводять до автоматичної дискваліфікації у змаганнях. Для контролю правильного проходження дистанції після фінішу учасника судді перевіряють вміст карток. Якщо використовується чіп, то комп'ютер на фініші обробляє інформацію, що зберігається на ньому, тим самим перевіряючи наявність відмітки і відповідність правильному проходженню дистанції. Якщо певний порядок проходження порушень, то учасника дискваліфікують [1].

На змаганнях зі спортивного орієнтування завжди існує «контрольний час» проходження дистанції. Це максимальний час за який проходять дистанція. Якщо учасник не вкладається в нього – то автоматично дискваліфікується. Спортивне орієнтування практично не має вікових меж. Це вид спорту, яким можуть займатися діти починаючи з 5 років і літні люди, яким уже за 60. На змаганнях учасники розбиваються по вікових групах і це визначає складність дистанції та її тривалість. Крім вікових груп можуть

бути ще й групи рівня учасників – визнаних майстрів можуть виділити в окрему групу з дистанцією відповідної складності. У травні 1963 року на околицях міста Канева (Черкаська обл.) був проведений перший Чемпіонат України зі спортивного орієнтування. У жовтні того ж року біля Невицького замку, що на Закарпатті відбулися перші Всесоюзні змагання. По суті, це був перший Чемпіонат СРСР. На цих. Україна була представлена збірною командою, а також командами Одеси та Києва [1].

У 60-70-х роках орієнтування на Україні швидко розвивалося. Основою цього розвитку було виникнення у всіх областях України великої кількості секцій орієнтування при колективах фізкультури, а потім при дитячих позашкільних закладах. Починаючи з 1963 року, в Україні почали формувати збірні команди для участі у Всесоюзних змаганнях. Крім Всесоюзного рівня, спортсмени України брали участь у міжнародних змаганнях. Після розпаду СРСР і утворення незалежної держави спортивне орієнтування в Україні у зв'язку з настанням економічної кризи і різким зменшенням фінансування спортивних заходів, що опинилося на межі зникнення. Але завдяки зусиллям ентузіастів, українські спортсмени стали знову брати участь у міжнародних змаганнях і навіть добиватися успіхів на етапах Кубка світу, Чемпіонатах світу та Європи [1].

Головними успіхами українських орієнтувальників середини 90-х років належать військовим та студентам. Неодноразовими переможцями та призерами Чемпіонатів Світу та Європи серед військових спортсменів ставали Ю. Омельченко, О. Михайлов, І. Трухан [2].

На сьогодні членами IOF є 67 національних федерацій. Основним змаганням є чемпіонат Світу зі спортивного орієнтування (World Orienteering Championships) – щорічні змагання, організовані міжнародною федерацією спортивного орієнтування для виявлення найсильніших спортсменів орієнтувальників. Спершу чемпіонати Світу проводились один раз кожні два роки. З 2003 року вони проводяться щорічно. Програма чемпіонатів Світу

змінювалася протягом своєї історії. Так у 1966 році вона складалася лише з індивідуальної гонки та естафеті. Починаючи з Чемпіонату Світу 1991 року у Чехословаччині, програма розширилася і включала у собі коротку дистанцію (час переможця 25 хвилин), класичну дистанцію та естафету. Остання реорганізація програми Чемпіонатів Світу була проведена у 2003 році. І на даний момент Чемпіонати Світу проводяться за наступною програмою: спринт, середня дистанція, довга дистанція, естафета [2].

Одними з найпрестижніших змагань є знаменита естафета Tiomila (Швеція) проводиться з 1945 року. Чоловіча команда складається з 10 чоловік, причому деяким доводиться бігти свій етап уночі. Жіночі команди біжать лише 5 етапів і встигають їх закінчити у світлу годину доби. Такі екстремальні змагання щорічно збирають близько 5000 спортсменів. У чомусь схожа на Tiomila естафета Jukola (Фінляндія). Вона завжди починається у третю суботу червня. Старт дається об 11 годині ночі і перші 3-4 етапи бігати з ліхтариками, а решта з 6-7 осіб чоловічої команди фінішують раннім утром, але вже завидно. Жіноча естафета, Venla Relay, проходить окремо в суботу вдень і складається з чотирьох етапів. На естафеті Jukola учасників збирається ще більше, ніж на Tiomila, понад 10000 [3].

Самим масовим (до 23000 чоловік) і престижним (не рахуючи Чемпіонат Світу, зрозуміло) індивідуальним змаганням є шведська багатоденка O-Ringen. Перші чотири дні визначають порядок старту у фінальному гандикапі і той, хто прибіг першим у п'ятий день є переможцем [3].

1.2. Аналіз наявного на ринку апаратного й програмного забезпечення для контролю результатів змагань зі спортивного орієнтування



Рис.1.1 Базова станція SPORTident ActiveCard

SPORTident ActiveCard SIAC є флагманом чіпів електронної позначки німецької фірми SPORTident.

Це ефективний пристрій, що задовольняє всі потреби хронометражу та ідентифікації у різних видах спорту у приміщеннях та на відкритому повітрі. Це перший чіп, що дозволяє робити безконтактну позначку на безконтактних контрольних станціях (система SPORTident AIR+) у радіусі до 3 метрів під час проходження КП з максимальною швидкістю 40 км/год. Також SIAC повністю інтегрований у класичну контактну систему позначки, сумісний зі всім обладнанням SPORTident і може використовуватись як чіп контактний аналогічно іншим SI-Card [5].

SIAC має вбудований електронний модуль та оснащений світловим (миготливий світлодіод) та звуковим сигналом успішного завершення позначки на контрольних пунктах. Сигнали зворотного зв'язку можуть конфігуруватися користувачем за допомогою безкоштовного програмного

забезпечення SPORTident SI-Config+. Чіп відрізняється високою швидкістю запису та великим обсягом пам'яті. Ідентифікація відбувається за 60 мсек (50 мсек при безконтактній позначці), у пам'яті зберігається до 128 проміжних позначок [5].

Вбудований у чіп радіо-модуль на короткому радіодіапазоні дозволяє організаторам отримувати дані про досконалі позначки в реальному часі та публікувати їх для вболівальників та коментатора. Крім того, SPORTident ActiveCard має привабливий, компактний вигляд, що випускається в корпусі шести сочних кольорів, з білим наконечником з логотипом SPORTident [5].

Термін служби батареї складає близько чотирьох років після нормального використання. Заміна батареї проводиться лише у сервісі SPORTident у Німеччині. Для заміни аккумулятора необхідно звернутись до нас. Після закінчення заряду батареї чіп продовжує працювати в режимі контактної позначки [5].

Особливості:

- 128 позначок;
- оснащений світловим (миготливий світлодіод) та звуковим сигналом успішного завершення позначки;
 - час позначки 60 мс контактна відмітка, 50 мс безконтактна відмітка;
 - швидкість проходження станції максимум 40 км/год;
 - робоча температура -20 ° C ... +50 ° C;
 - клас захисту IP 67 (DIN EN 60529) - захист від проникнення пилу та від попадання води при короткочасному зануренні;
- діапазон номерів чіпів: 8.000.001 – 8.999.999;
- вага, г 1;
- розмір, мм 68 x 21 x 12;
- ціна 2635 грн..



Рис.1.2 Станція SPORTident

Станція SPORTident – спеціалізований електронний пристрій, призначений для роботи у складі системи електронної позначки SPORTident, що випускається компанією SPORTident GmbH (Німеччина). Усередині станції встановлено мікропроцесор, керуючий роботою станції [6]:

- контактна система позначки;
- можлива робота у безконтактному режимі SPORTident AIR+ з радіусом дії до 0.5 м (при використанні чіпів SIAC);
- режими роботи, що настраюються: очищення, перевірка, старт, фініш, кп, увімк/вімк siac, перевірка батареї siac;
- точність таймера за нормальної температури менше +/- 20 сек на місяць;
- вбудована пам'ять на 21802 позначки, 1022 записів чіпів;
- неперезаряджувана літієва батарея;
- термін служби батареї 3-5 років. Заміна батареї у авторизованих сервісах SPORTident;

- робоча температура -20°C ;
- клас захисту IP 64 (DIN EN 60529) - захист від пилу та захист від бризок води з усіх напрямків [7].

Випускається в корпусі червоного та синього кольору. Гарантія 2 роки, виключаючи батарею. Дисплей розташований на задній стороні корпусу. Під час роботи станції на дисплеї відображаються година, номер, серійний номер станції, споживання батареї, версія програмного забезпечення, номер останнього чипа, що відзначився, і т.п [7].

Вага: 62 г.

Розмір: 101 x 51 x 19 мм.

Ціна: 4 025 грн.



Рис.1.3 Станція SRR USB Dongle

Дисплей розташований на задній стороні корпусу. Під час роботи станції на дисплеї відображаються година, номер, серійний номер станції, споживання батареї, версія програмного забезпечення, номер останнього чипа, що відзначився, тощо. Контактна система позначки. Можлива робота у безконтактному режимі з радіусом дії до 0,5 м (при використанні чіпів SIAC).

Відрізняється від станції BSF8-DB наявністю вбудованого SRR-передавача на коротких радіочастотах [8].

При відмітці чипом станція транслює інформацію про відмітку на радіоприймач SRR USB Dongle на відстань до 10 м (приймач купується окремо, арт. Це дозволяє організаторам отримувати дані про досконалі позначки в реальному часі та публікувати їх для вболівальників та коментатора) [8]:

- режими роботи, що настраюються: очищення, перевірка, старт, фініш, кп, увімк/вімк сіас, перевірка батареї сіас;
- точність таймера за нормальної температури менше +/- 20 сек на місяць;
- вбудована пам'ять на 21802 позначки, 1022 записів чипів;
- неперезаряджувана літієва батарея;
- термін служби батареї 3-5 років. Заміна батареї у авторизованих сервісах SPORTident;
- робоча температура -20 °C. +50°C;
- клас захисту IP 64 (DIN EN 60529) - захист від пилу та захист від бризок води з усіх напрямків;
- вага: 62 г;
- розмір: 101 x 51 x 19 мм;
- ціна: 6229 грн..

1.3. Постановка задачі

Основним завданням роботи є розробка приладу для отримання та обробки результатів змагань та коректного відображення їх у структурованому вигляді. Робота з таблицею змагань дасть можливість

додавання, редагування, видалення, експорту даних в Microsoft Excel, імпорту з Microsoft Excel даних про спортсменів та змагання. Робота з контрольними точками змагань та підтримка електронних карт з gps точками. Отримання та обробка даних від базових станцій, які отримує по радіоканалу серверна станція (дані про проходження спортсменами контрольних точок, положення базових станцій), підведення підсумків змагань та визначення переможців.

Функції серверної станції:

- «старт» – ініціалізація даних брелока,
- «фініш» – зчитування з брелока номерів контрольних точок, які пройшов спортсмен,
- «моніторинг» – отримання інформації від базових станцій про контрольні точки, які пройшов спортсмен, відстеження положення базових станцій за їх GPS координатами,
- «дамп брелоків» – зчитування всіх даних, записаних у пам'ять брелока.

Функції базової станції:

- запис номерів КП у пам'ять брелка спортсмена;
- відправка даних про проходження спортсменом КП та gps координат КП на серверну станцію.

Висновки до розділу 1

У першому розділі магістерської роботи було проаналізовано предметну область, проаналізувавши правила та процес проведення змагань зі спортивного орієнтування було підтверджено її актуальність. Проведення аналізу наявного апаратного забезпечення для отримання та обробки даних змагань зі спортивного орієнтування, показав, що наявні пристрої для отримання та обробки даних мають високу вартість та через це не можуть бути використанні на змаганнях різного рівня в Україні через брак фінансування.

Отримана інформація в результаті аналізу предметної частини та ринку продажу апаратної частини роботи дає змогу схарактеризувати певні пріоритети в подальшій розробці апаратного та програмного забезпечення для змагань зі спортивного орієнтування. Завдяки цьому визначені певні недоліки аналогів, які будуть враховані при розробці системи моніторингу.

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ЗМАГАНЬ ЗІ СПОРТИВНОГО ОРІЄНТУВАННЯ

2.1. Характеристика та переваги мікроконтролера STM32

Прилади нового сімейства, що отримало назву STM32, надали розробникам розширені можливості архітектури Cortex-M3 при провідному в галузі малому енергоспоживанню [9].

Низьке енергоспоживання мікроконтролерів сімейства STM32 у робочому режимі ще більшою мірою знижується за рахунок використання ряду режимів енергозбереження, що сприяє оптимізації робітників характеристик таких застосувань, як промислове обладнання, контролери обслуговування будівель, медична апаратура, периферія комп'ютерів тощо [10].

Ядро процесора Cortex-M3 побудовано за допомогою Гарвардської архітектуриз 3-рівневим конвеєром, в поєднанні з рядом розширених функцій, включаючи одноцикловий помножувач та апаратний дільник, що забезпечують виключно високу продуктивність 1,25 DMIPS/МГц [11].

Процесор Cortex-M3 працює також із новою системою команд Thumb-2, яка, у поєднанні з такими функціями, як зберігання невіривняних даних та побітова обробка, забезпечує 32-розрядну продуктивність за вартістю, еквівалентною вартістю сучасних 8- та 16-розрядних мікроконтролерів [12].

Performance (F103xx): частота тактування 72 МГц, від 256 до 512 кбайт флеш-пам'яті, до 64 кбайт SRAM, контролер статичної пам'яті з підтримкою Compact.

Flash, SRAM, PSRAM, NOR та NAND пам'яті, з підтримкою LCD паралельного інтерфейсу (F103Vx) [12].

Мікроконтролери Performance орієнтовані на застосування, яким потрібні одночасно і підвищена продуктивність обробки, і економна робота [13].

Мікроконтролери з Flash-пам'яттю ємністю 256 кбайт і більше, включає контролер зовнішньої статичної пам'яті (Flexible Static-Memory Controller, FSMC), що підтримує мікросхеми NOR, NAND та Compact [13].

Flash-пам'яті та, крім того, SRAM-пам'ять.

FSMC-контролер також підтримує режими 8080 (Intel) та 6800 (Motorola) для організації паралельного інтерфейсу з LCD-контролерами.

Крім того, нові мікроконтролери мають контролер для змінних носіїв пам'яті, включаючи SD (Secure Digital),SDIO (Secure Digital Input/Output) та MMC (Multi-Media Card), які відповідають вимогам специфікацій MultiMediaCard. System Specification 4.42 для 8-розрядних пересилань даних на частоті 48 МГц. На рисунку 2.1. показана блок-схема мікроконтролера сімейства STM32, що представляє організацію шин та підключення до них пам'яті та периферії [14].

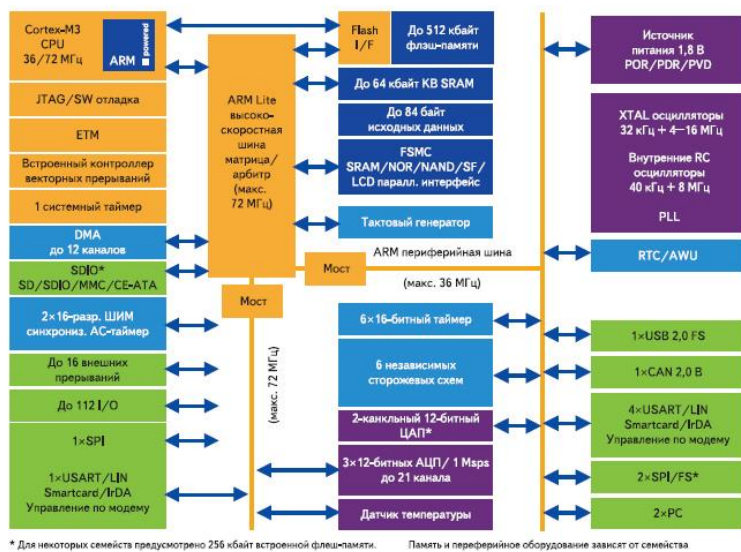


Рис.2.1 Блок-схема мікроконтролера сімейства STM32

2.2. Характеристика GPS модуля NEO 7M

GPS модулі серії NEO-7 це Multi-GNSS приймачі (з підтримкою декількох поширених стандартів супутникової навігації). Дані модулі – відмінне рішення для портативних і автономних систем, яким потрібна інформація про позиціонування і точну годину з малим споживанням енергії та компактним виконанням. Модулі NEO-7 сумісні з попередніми серіями

NEO-6 та NEO-5. Модуль може бути використаний у пристроях на Arduino, AVR, PIC, ARM та міні-комп'ютерами. Модуль містить вихід секундних імпульсів, які можна використовувати для синхронізації годинника. Для збереження поточних налаштувань та даних про поточне місцезнаходження на платі встановлені акумулятор та мікросхема EEPROM пам'яті [15].

- Специфікація GPS ресивера: 56-канальне ядро 7-го покоління від u-blox.
- Підтримувані системи позиціонування: GPS L1 C/A, GLONASS L1 FDMA, QZSS L1 C/A, SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS, Galileo E1B/C.
- Частота оновлення даних: до 10 Гц.
- GPS - до 2. GLONASS - до 4м (залежати від налаштувань і кількості одночасно видимих супутників).
- Вбудована керамічна антена.
- Антенний інтерфейс.
- Інтерфейс підключення: USB, UART.
- Швидкість підключення за замовчуванням за UART: 9600 бод (можна змінити в сервісній програмі).
- Напруга живлення: 3 - 5 В (стабілізатор напруги 3.3В установок на платі).

Графічне зображення модуля можна побачити на рисунку 2.2.

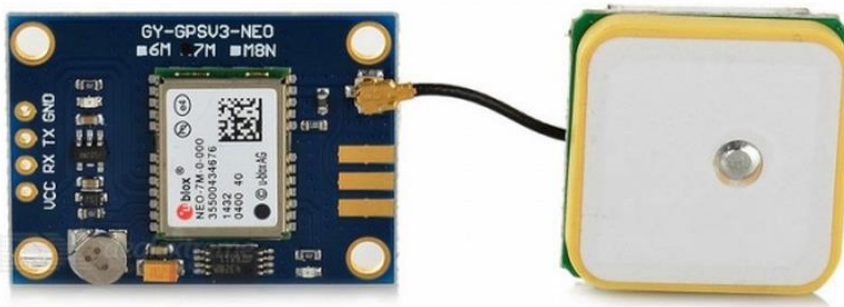


Рис.2.2 GPS модуль NEO7M

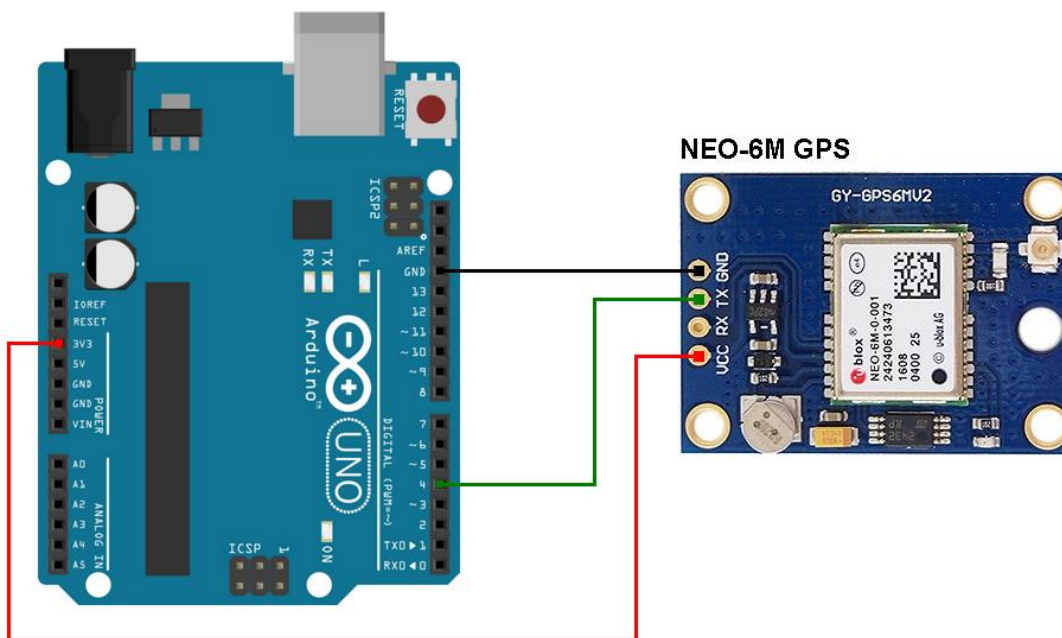


Рис.2.3 Схема підключення NEO 7M до мікроконтролера

2.3. Датчик радіоз'єднання sx1278

Термін LoRa означає Long Range. Це бездротова технологія радіочастот. Технологія LoRa може використовуватися для передачі двонаправленої інформації на великі відстані без великих витрат енергії. Ця властивість може використовуватися віддаленими датчиками, які повинні передавати свої дані просто працюючи на одному заряді невеликої батареї [17].

У будь-якому стандартному IT-рішенні, призначеному для управління складом або моніторингу об'єктів на місцях, у польових умовах будуть розгорнуті сотні вузлів датчиків, які відстежуватимуть життєво важливі параметри та надсилатимуть їх у центр для обробки. Але ці датчики повинні бути бездротовими та працювати від невеликої батареї, щоб вони були портативними. Стандартні бездротові рішення можуть передавати дані на великі відстані, але для цього потрібно більше енергії, тому вони не можуть працювати від батареї, в той час як BLE, з іншого боку, може працювати з дуже малою потужністю, але не може надсилати дані на великі відстані. Так що це ті, що потребує LoRa. Принципи роботи датчика можна побачити на рисунку 2.4. У LoRa ми можемо досягти зв'язку на великому відстані, не використовуючи багато енергії, таким чином долаючи недоліки стільникового зв'язку, Wi-Fi та BLE [18].

Це тому, що LoRa має недоліки. Для досягнення великого відстані з низьким енергоспоживанням LoRa мінімізує пропускну здатність, мережа працює за дуже низькою пропускну здатністю. Максимальна пропускну здатність LoRa становить близько 5,5 кбіт/с, це означає, що ви зможете надсилати лише невелике кількість даних через LoRa. Таким чином, ви не можете надсилати аудіо або відео за допомогою цієї технології, вона відмінно працює тільки для передачі меншої кількості інформації, наприклад, показань датчиків [18].

LoRa. Bluetooth використовується для передачі інформації між двома пристроями Bluetooth, а Wi-Fi використовується для передачі інформації між точкою доступу (маршрутизатором) та станцією (мобільною точкою). Але технологія LoRa спочатку була винайдена для передачі даних між двома модулями LoRa [18].

Ви можете думати про LoRa, як про стільниковий зв'язок. Сигнал від одного вузла LoRa досягає іншого вузла через шлюз (Gateway) LoRa, як показано нижче [19].

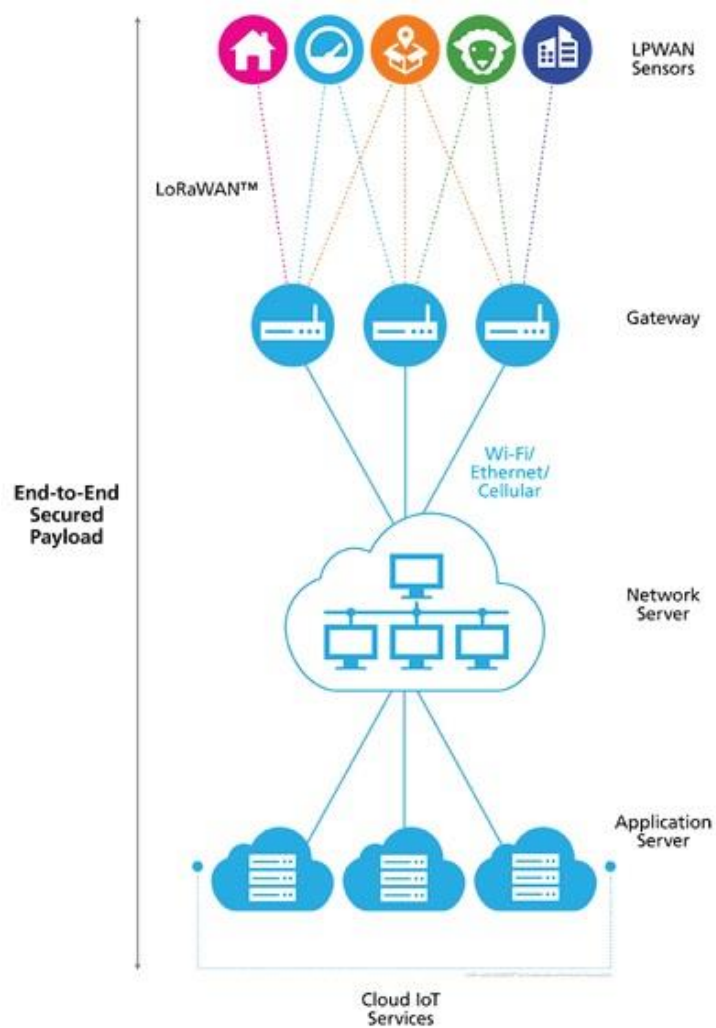


Рис.2.4 Схема роботи LoRa

Схему підключення LoRa до мікроконтроллера зображено на рисунку 2.5.

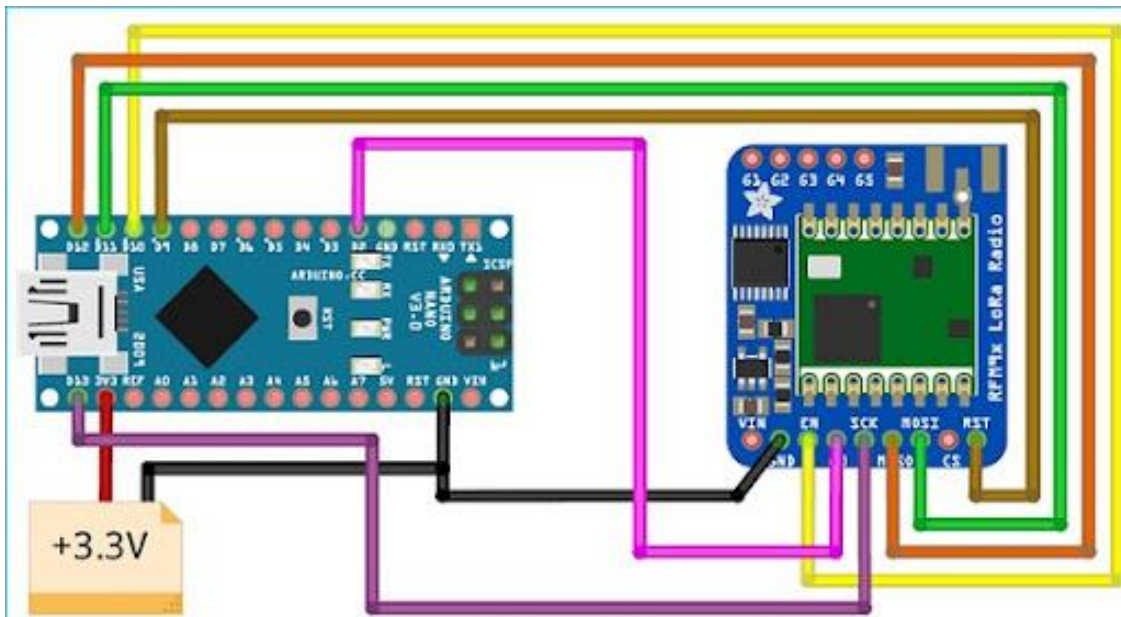


Рис.2.5 Схему підключення sx1248 до мікроконтролера

2.4. Модуль сканер PN532 RFID карток

PN532-RFID модуль на основі чіпа NXP PN532, призначений для зчитування та запису міток 13.56 МГц. Також модуль може імітувати RFID мітку, виступати як NFC пристрою [19].

Підтримувані чіпи:

ISO 14443 Type A - NXP Mifare 1k, 4k, Ultralight, Desfire

ISO 14443 Type B

ISO/IEC 14443-4-сумісні чіпи

FeliCa

Jewel

ToraZ

Характеристики:

Логіка: КМОП, 3.3В

Напруга живлення: 3.3-5В

Частота тегів: 13.56 МГц

Максимальний споживаний струм: 150 мА

Струм, що споживається в режимі очікування: 100 мА

Споживаний струм у режимі зчитування: 120 мА

Струм, що споживається в режимі запису: 120 мА

Дальність зчитування: 5 – 7 см

Антенa: вбудована, на платі

Розміри: 42.7 x 40.4 мм

Комплектація:

RFID модуль PN532

RFID карта

RFID брелок

З'єднувальні дроти

Штиркові з'єднувачі

Модуль зображено на рисунку 2.6.



Рис.2.6 PN532 RFID модуль

Схему підключення до мікроконтролера зображено на рисунку 2.7.

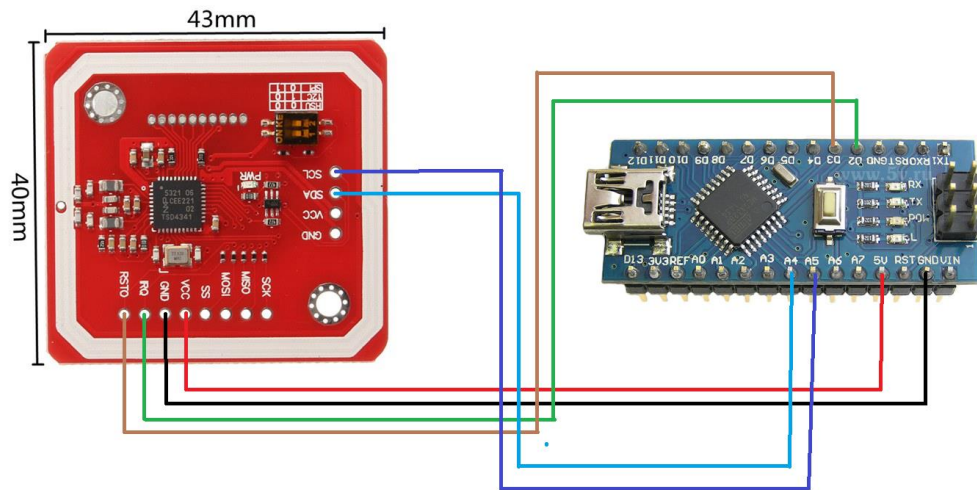


Рис.2.7 Схема підключення PN532 RFID модуля до мікроконтролера

Висновки до розділу 2

В даному розділі було проаналізовано функціональну частину та її можливості в залежності від обраних електронних складових. Була підібрана периферія для комплексного збору даних змагань зі спортивного орієнтування. В результаті дослідження електронної частини та алгоритмів створення апаратної частини приладу була розроблена схема на якій відображені усі елементи та показано взаємодію між собою. Чіткий опис та характеристика електронних складових дає можливість правильно підібрати середовище програмування та розробити необхідні алгоритми для коректної взаємодії деталей одна з одною.

За основу апаратної частини було взято мікроконтролер STM 32, що повністю відповідає основним вимогам, що були встановлені на початку роботи. А саме невелика ціна, достатній функціонал, доступність та витривалість. Саме завдяки головному елементу схеми ми можемо впевнено гарантувати надійність роботи приладу та достовірність і точність даних отриманих через нього. Модулі з якими взаємодіє мікроконтролер також детально відібрані у відповідності цінового діапазона, якості та чіткості роботи в екстремальних умовах.

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ

3.1. Принципи роботи пристрою

Учасники на початку змагань отримують картки, на яких записані дані у вигляді нулів. Після проходження певної дистанції кожен учасник прикладає свою карту до базової станції, які розташовані по всьому маршруту, тим самим отримує індивідуальну мітку проходження відрізка шляху. Дані відправляються на серверну частину пристрою, де обробляються програмою та представляються у вигляді таблиці. Схему пристрою можна побачити на рисунку 3.1. Карта кожного учасника індивідуальна, тому пройти один маршрут два рази учасник не зможе, це дає змогу запобігти шахрайству під час змагань. Між базовими та серверною станцією існує прямий зв'язок, який можна спостерігати на рисунку 3.2.

Наявність GPS модуля дає змогу спостерігати маршрут на карті, де він буде відмічений певними позначками у вигляді червоних міток з назвами КП. Також складові частини, які використовувалися для побудови пристрою, мають велику функціональну базу для підключення додаткових периферійних пристроїв, що дає змогу збільшити можливості приладу та підстроїти його під нові умови проведення змагань. Економне споживання енергії дає можливість не змінювати джерело живлення приладу під час змагань, забезпечуючи стійку та безперервну роботу передачі даних учасників. Ціна приладу є меншою по відношенню до його аналогів.

Завдяки правильному підбору електронних елементів системи вдалося зберегти її високу якість та стійкість до різних навколишніх подразників і при цьому зменшити її собівартість. Тому пристрій можуть дозволити собі не тільки професійні спортсмени, які мають спонсорську фінансову підтримку, а й спортсмени любителі. Вартість електронних елементів описана у таблиці 1.



Рис.3.1. Схема пристрою з електронними складовими



Рис.3.2 Зв'язок між базовими та серверними частинами

Таблиця 1

Вартість базової станції

Електронна складова	Вартість у грн.
Мікроконтроллер STM32	152
Датчик радіоз'єднання LoRa	350
GPS модуль NEO 7M	210
Модуль зчитування та запису міток PN532	182
Всього:	894

Таблиця 2

Вартість серверної станції

Електрона складова	Вартість у грн.
Мікроконтроллер STM32	152
Датчик радіоз'єднання LoRa	350
Модуль зчитування та запису міток PN532	182
Всього:	684

3.2. Програмна реалізація базової станції

Алгоритм роботи базової станції (БС). Кожні 60 секунд БС надсилає інформацію з gps координатами КП (gps [номер КП] [gps координати]) для моніторингу положення БС у просторі, тобто постійно контролюється несанкціоноване переміщення (крадіжка, вандалізм та ін.) пристрою БС.

Робота з брелком спортсмена:

а) Пристрій зчитує дані з брелка: кількість та номери КП, які пройшов спортсмен.

б) Відбувається перевірка чи є у списку номерів КП номер поточного КП, щоб уникнути повторного запису номера КП у список. Якщо номер у списку знайдено, то пропускаємо операцію запису, а якщо не знайдено, то збільшуємо на одиницю кількість КП у списку та додаємо у кінець списку номер поточного КП. Записуємо після доповнення список КП у пам'ять брелка. Перевіряємо повторним зчитуванням з брелка коректності запису даних. Якщо після усіх цих дій не виникла помилка, то відправляємо повідомлення на серверну станцію (mbs [номер КП] [номер спортсмена]) та подвійним звуковим сигналом повідомляємо спортсмену про успішний запис номера КП у список.

```

#include <PN532_HSU.h>

#include <PN532.h>

#include <TinyGPS++.h>

#include <SPI.h>

#include <LoRa.h>

//pn532

PN532_HSU pn532hsu(Serial1);//PA9,PA10

PN532 nfc(pn532hsu);

uint8_t keya[6] = { 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF };

uint8_t success;

uint8_t uid[] = { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 }; // Буфер для зберігання оберненого
UID

uint8_t uidLength; // Довжина UID (4 або 7 байт залежно від типу карти
ISO14443A)

uint8_t data[16*3],data1[16];

//lora

String incoming = "";

//gps //PA2,PA3

static const uint32_t GPSBaud = 9600;

String gps_coord="";

// Об'єкт TinyGPS++

bool fl1,fl2,fl3,fl;

```

```
// зумер

void buzz(int c)

{

pinMode(PB10, OUTPUT);

for (int j=0;j<c;j++)

{

if (j>0) delay(100);

for (int i=0;i<50;i++)

{

digitalWrite(PB10, HIGH);

delay(2);

if (! versiondata)

{

Serial.print("Didn't find PN53x board");

}

}

// налаштувати плату для зчитування міток RFID

nfc.SAMConfig();

//Ініціал. GPS

Serial2.begin(GPSBaud);

//Ініціал. LoRa

LoRa.setPins(PA4, PC15,PC14);
```

```

if (!LoRa.begin(433E6))

{

    Serial.println("Starting LoRa failed!");

}

LoRa.enableCrc();

tm=millis();

}

void loop(void) {

//лора отримання

onReceive(LoRa.parsePacket());

//gps

gps_coord="";

while (Serial2.available() > 0)

if (gps.encode(Serial2.read()))

{

if (gps.location.isValid())

{

if (millis()-tm>10000)

{

tm=millis();

//Serial.print(gps.location.lat(), 6);

```

```

//Serial.print(F(","));

//Serial.print(gps.location.lng(), 6);

gps_coord=String(gps.location.lat(),6)+" "+String(gps.location.lng(),6);

//Serial.println(gps_coord);

sendMessage("gps "+String(num_st)+" "+gps_coord);

}

}

}

// Дочекайтеся карток типу ISO14443A

success = nfc.readPassiveTargetID(PN532_MIFARE_ISO14443A, uid,
&uidLength,100);

if (success)

    if (uidLength == 4)

        {

// Починати з блоку 4 (першого блоку сектора 1), починаючи з сектора
0

        success = nfc.mifareclassic_AuthenticateBlock(uid, uidLength, 4, 0,
keya);

        if (!success) goto er;

        {

// Прочитайте вміст блоку 4

        success = nfc.mifareclassic_ReadDataBlock(4, data);

```



```

    }

    if (num_block>0 && num_block<3)

    {

    buzz(2);

    //nfc.PrintHexChar(data,16);

    //nfc.PrintHexChar(data+16,16);

    //nfc.PrintHexChar(data+32,16);

    //Serial.println("Ok write num station"); goto ner;

er: Serial.println("Error read or write");

ner: ;

}

void sendMessage(String outgoing)

{

    LoRa.beginPacket();// стартовий пакет

    LoRa.print(outgoing);// рядок повідомлення

    LoRa.endPacket();// закінчити пакет і відправити його

}

void onReceive(int packetSize)

{

    if (packetSize == 0) return;    // якщо пакета немає, повертаємо

    // читання байтів заголовка пакета. }

```

3.3. Програмна реалізація серверної станції

Режими роботи серверної станції (СС):

1) Старт

Для переходу в цей режим потрібно натиснути кнопку «старт» або відправити команду 1 [номер спортсмена] через рядок команд (рис.3.3).

У відповідь на команду 1 СС надіслала підтвердження переходу у режим 1.

№	Прізвище	Ім'я	По батькові	Вік	Стать	№ маршрута	Час	Номери КП
1								
2								
3								
4								
5								

Рис.3.3 Режим «Старт»

У цьому режимі СС записує інформацію у пам'ять брелка спортсмена при піднесенні брелка до пристрою роботи з RFID картками (рис.3.4). Після запису даних одразу ж з брелка зчитується інформація для перевірки коректності запису, у випадку некоректного запису виводиться повідомлення про помилку зчитування/запису.

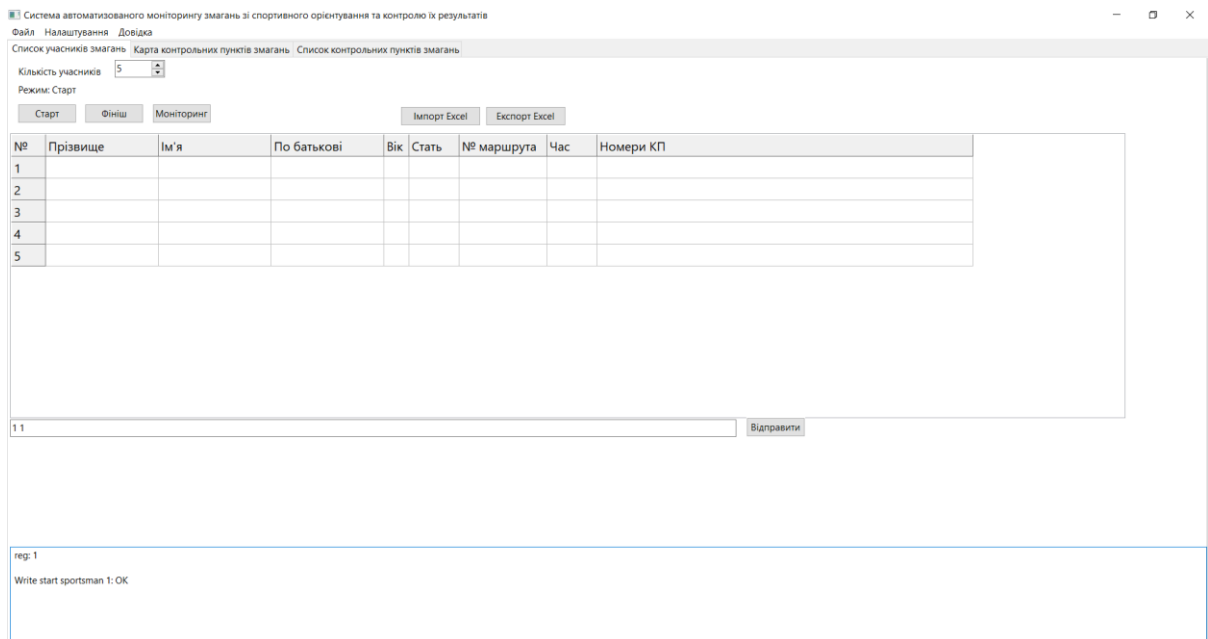


Рис.3.4 Режим СС запису інформації у пам'ять брелка

Інформація записується у блоки 4, 5, 6 сектору 1 у вигляді:

[номер спортсмена] [0 0 0 0 ... 0].

Переводимо СС у режим 4 для отримання даних з пам'яті брелка. На рис.3.5. Стан пам'яті брелка після запису інформації.

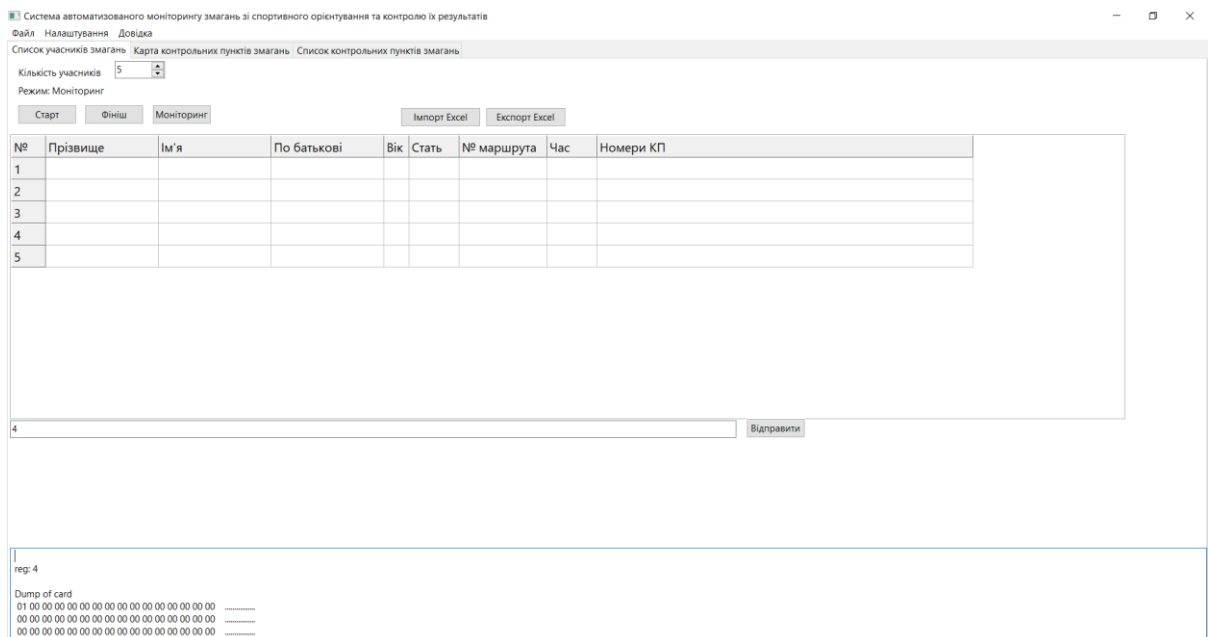


Рис.3.5 Стан пам'яті брелка після запису інформації

2)Фініш

Для переходу в цей режим потрібно натиснути кнопку «фініш» або відправити команду 2 через рядок команд (рис.3.6).

У відповідь на команду 2 СС надіслала підтвердження переходу у режим 2.

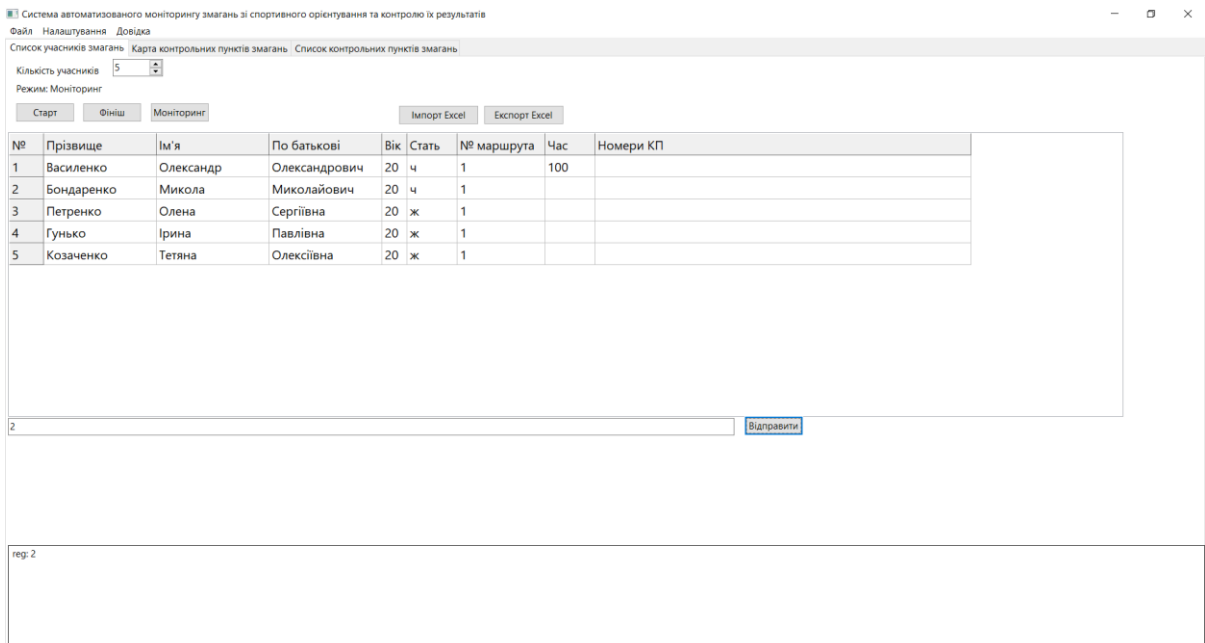


Рис.3.6 Режим «Фініш»

У цьому режимі СС зчитує інформацію з пам'яті брелка спортсмена при піднесенні брелка до пристрою роботи з RFID картками (рис.3.7). Після зчитування інформація виводиться у рядок таблиці, який містить інформацію про спортсмена та його результати участі у змаганнях, у випадку некоректного зчитування виводиться повідомлення про помилку зчитування/запису.

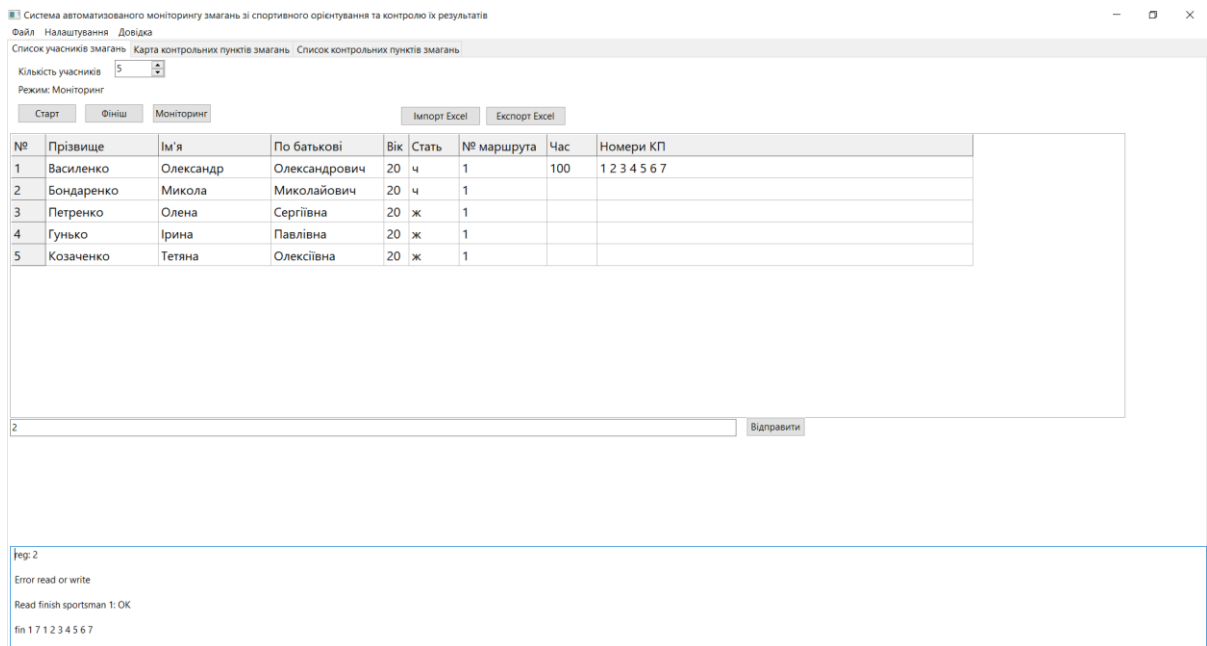


Рис.3.7 Інформація про спортсмена та його результати участі у змаганнях

На рисунку 3.7 видно, що зчитувались результати спортсмена з номером 1, він пройшов сім КП у порядку 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

2)Моніторинг

Для переходу в цей режим потрібно натиснути кнопку «моніторинг» або відправити команду 3 через рядок команд (рис.3.8).

У відповідь на команду 3 СС надіслала підтвердження переходу у режим 3.

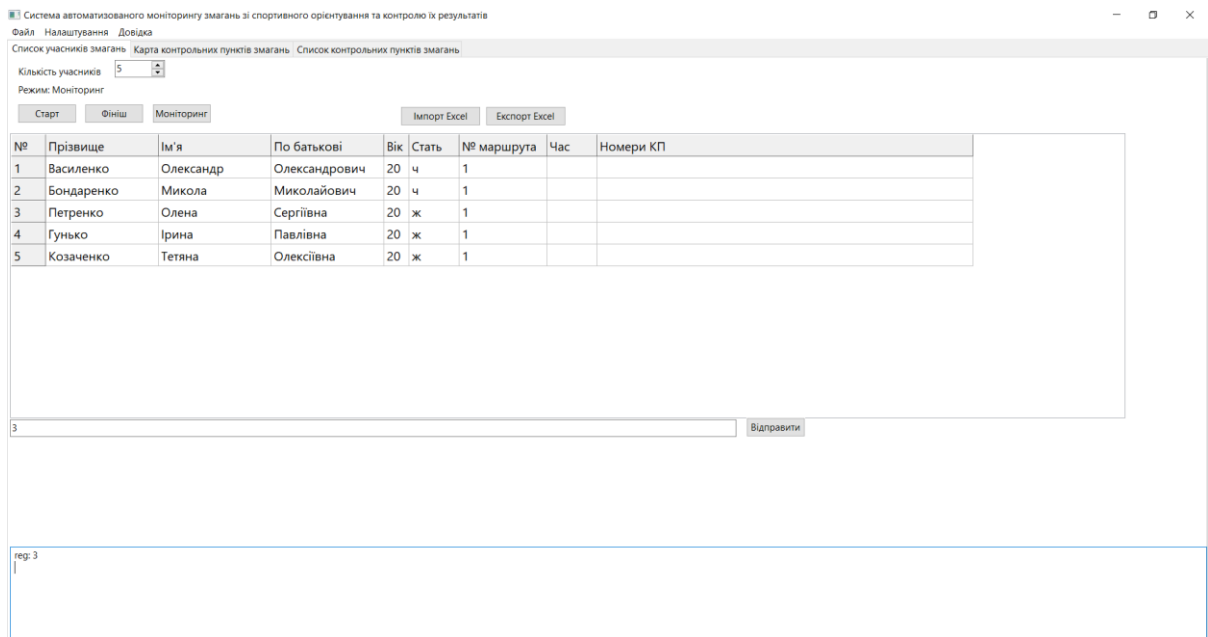


Рис.3.8 Режим «Моніторинг»

У режимі моніторингу програма отримує інформацію від базових станцій (БС) через СС про КП, які пройшов спортсмен (рис.3.9).

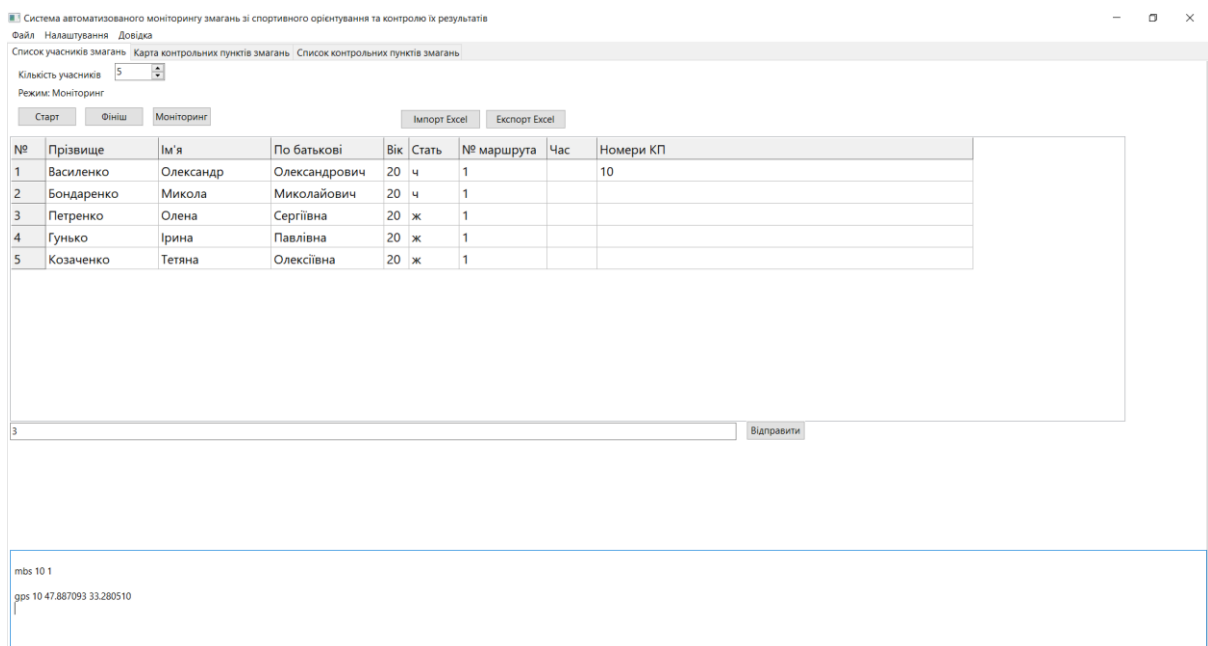


Рис.3.9 Інформація від базових станцій, які пройшов спортсмен

Від БС до СС пересилаються наступні повідомлення (рис.3.10):

а) mbs [номер КП] [номер спортсмена] (рис.3.10), яке вказує на те, що спортсмен 1 пройшов КП 10;

б) gps [номер КП] [gps координати] – gps координати КП [номер].

Для переходу в цей режим потрібно відправити команду 4 через рядок команд (рис.3.10).

У відповідь на команду 4 СС надіслала підтвердження переходу у режим 4.

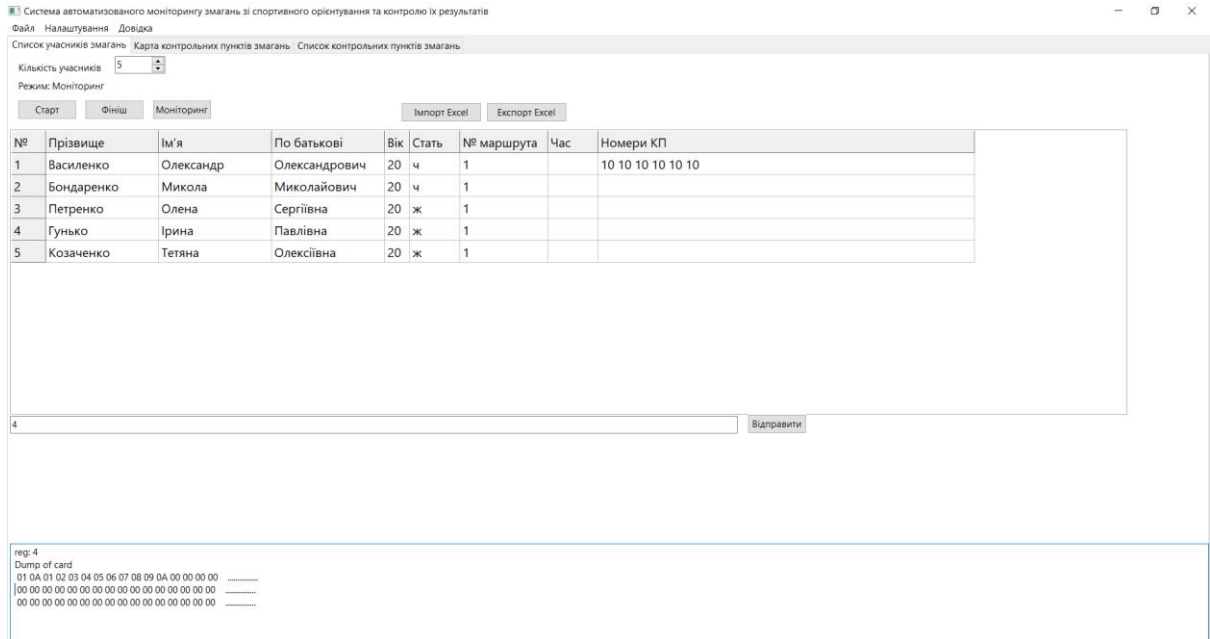


Рис.3.10 Дамп пам'яті брелка спортсмена з номером 1, який пройшов 10 КП у прямому порядку від 1 до 10

```
#include <PN532_HSU.h>
```

```
#include <PN532.h>
```

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <LoRa.h>
```

```
//pn532
```

```
PN532_HSU pn532hsu(Serial1);
```

```
PN532 nfc(pn532hsu);
```

```

uint8_t keya[6] = { 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF };

uint8_t success;

uint8_t uid[] = { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 }; // Буфер для зберігання повернутого
UID

uint8_t uidLength; // Довжина UID (4 або 7 байт залежно від типу карти
ISO14443A)

uint8_t data[16*3],data1[16];

//lora

String incoming = "",s="";

//buzzer

void buzz(int c)

{

pinMode(PB10, OUTPUT);

for (int j=0;j<c;j++)

{

if (j>0) delay(100);

for (int i=0;i<50;i++)

{

digitalWrite(PB10, HIGH);

delay(2);

digitalWrite(PB10, LOW);

delay(1);

```



```
}  
  
}  
  
}  
  
//світлодіодний  
  
// помилки  
  
//команди  
  
//серверна станція  
  
    // налаштувати плату для зчитування міток RFID  
  
nfc.SAMConfig();  
  
  
  
  
// налаштувати плату LORA  
  
LoRa.setPins(PA4, PC15,PC14);  
  
if (!LoRa.begin(433E6))  
  
    {  
  
        Serial.println("Starting LoRa failed!");  
  
    }  
  
LoRa.enableCrc();  
  
}  
  
void loop(void) {  
  
    //лора отримати
```

```

incoming="";

onReceive(LoRa.parsePacket());

if (incoming.length()>0)

{

    Serial.println(incoming);

    delay(100);

}

else

if (Serial.available() > 0)

{

//встановити режим роботи

reg=Serial.parseInt();

if (reg==1) num_sp=Serial.parseInt();

Serial.println("reg: "+String(reg));

delay(100);

//if (reg==1) Serial.println("num_sp: "+String(num_sp));

}

if (reg==1) //старт, режим запису номера спортсмена та обнулення
списку КП

{

```

```

// Дочекайтеся карток типу ISO14443A

    success = nfc.readPassiveTargetID(PN532_MIFARE_ISO14443A, uid,
&uidLength,100);

    if (success)

    {

        if (uidLength == 4)

        {

            // Починати з блоку 4 (першого блоку сектора 1), починаючи з
сектора 0

            success = nfc.mifareclassic_AuthenticateBlock(uid, uidLength, 4, 0,
keya);

            if (!success) goto er;

            {

                data[0]=num_sp;//номер спортсмена

                for (i=1;i<48;i++)//обнулення даних, які записуються у картку

                    data[i]=0;

                fl1=true;

                //запис даних на картку з перевіркою

                for (num_block=0;num_block<3;num_block++)

                {

                    success = nfc.mifareclassic_WriteDataBlock (num_block+4,
data+num_block*16);//запис

```

```

        if (!success) goto er;

        delay(100);

        success = nfc.mifareclassic_ReadDataBlock(num_block+4,
data1); //зчитування

        delay(100);

        if (!success) goto er;

        for (i=0;i<16;i++) //перевірка даних, які були записані на картку

            if (data[i+num_block*16]!=data1[i]) {f1=false;break;}

    }

    if (f1)

    {

        Serial.println("Write start sportsman "+String(num_sp)+": OK");

        delay(100);

    if (reg==2) //фініш, режим зчитування даних з картки на фініші

    {

        // Дочекайтеся карток типу ISO14443A

        success = nfc.readPassiveTargetID(PN532_MIFARE_ISO14443A, uid,
&uidLength,100);

    if (success)

    {

        if (uidLength == 4)

```

```

    {
        // Починати з блоку 4 (першого блоку сектора 1), починаючи з
сектора 0

        success = nfc.mifareclassic_AuthenticateBlock(uid, uidLength, 4, 0,
keya);

        if (!success) goto er;

        {

            //зчитування даних з блоків 4,5,6

            if (reg==4) // картка

            {

                success = nfc.readPassiveTargetID(PN532_MIFARE_ISO14443A, uid,
&uidLength,100);

                if (success)

                {

                    if (uidLength == 4)

                    {

                        // Починати з блоку 4 (першого блоку сектора 1), починаючи з
сектора 0

                        {

                            LoRa.beginPacket();           // стартовий пакет

                            LoRa.print(outgoing);         // додати корисне навантаження

                            LoRa.endPacket();             // закінчити пакет і відправити його

```

```

}

void onReceive(int packetSize)

{

    if (packetSize == 0) return;    // якщо пакета немає, повертаємо

// читання байтів заголовка пакета:

    incoming = "";

    while (LoRa.available()) {

```

3.4. Функціонал програмного забезпечення для ПК

Для розробки програмного забезпечення відображення та обробки результатів було обрано середовище програмування Lazarus. Головні переваги даного середовища це кросплатформенність, швидкість та простота розробки інтерфейсу. В результаті було розроблено програмне забезпечення яке має наступний функціонал:

1) робота з таблицею змагань:

додавання, редагування, видалення, експорт в Excel, імпорт з Excel даних про спортсменів та змагання можна спостерігати на рисунку 3.11.

2) аналогічна робота з контрольними точками змагань та підтримка електронних карток з gps точками можна спостерігати на рисунку 3.12;

3) обмін даними із серверною станцією:

а) завдання режиму роботи серверної станції (старт – 1, фініш – 2, моніторинг – 3, дамп брелоків – 4), можна спостерігати на рисунку 3.13.

Старт – ініціалізація даних брелока, фініш – зчитування з брелока номерів контрольних точок, які пройшов спортсмен, моніторинг - отримання інформації від базових станцій про контрольні точки, які пройшов

спортсмен, відстеження положення базових станцій за їх GPS координатами, дамп брелоків – зчитування всіх даних, записаних у пам'ять брелока, можна спостерігати на рисунку 3.14.

б) отримання та обробка даних від базових станцій, які отримує по радіоканалу серверна станція (дані про проходження спортсменами контрольних точок, положення базових станцій), можна спостерігати на рисунку 3.15.

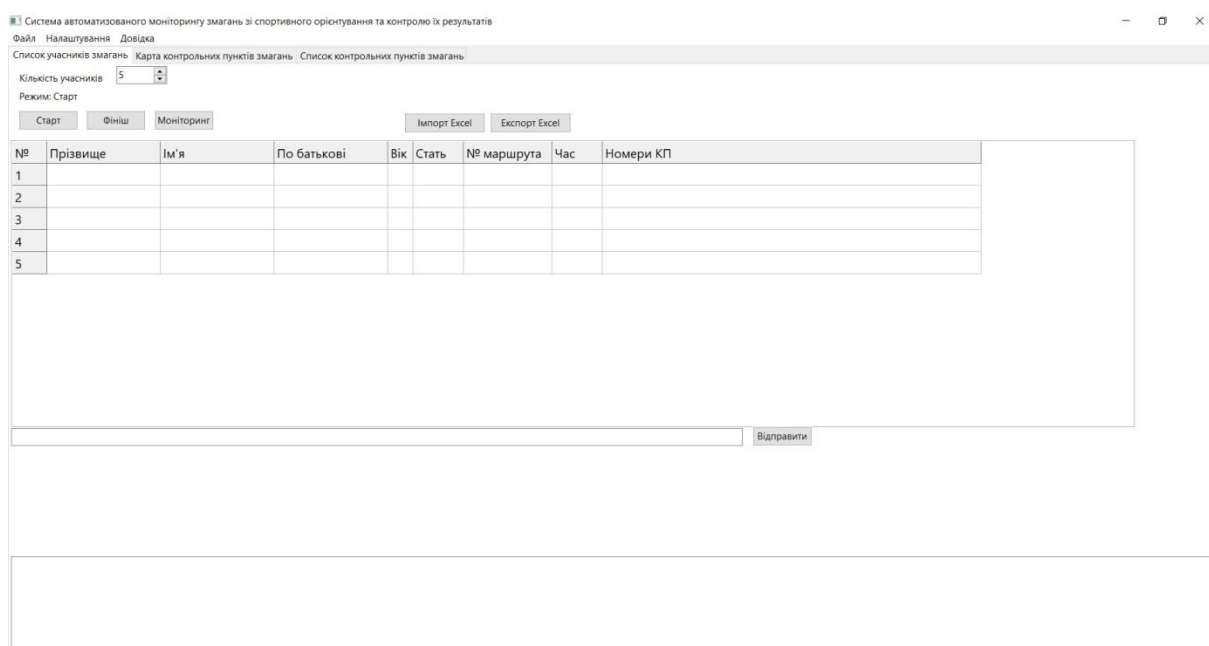


Рис.3.11 Додавання, редагування, видалення, експорт в Excel, імпорт з Excel даних про спортсменів та змагання.

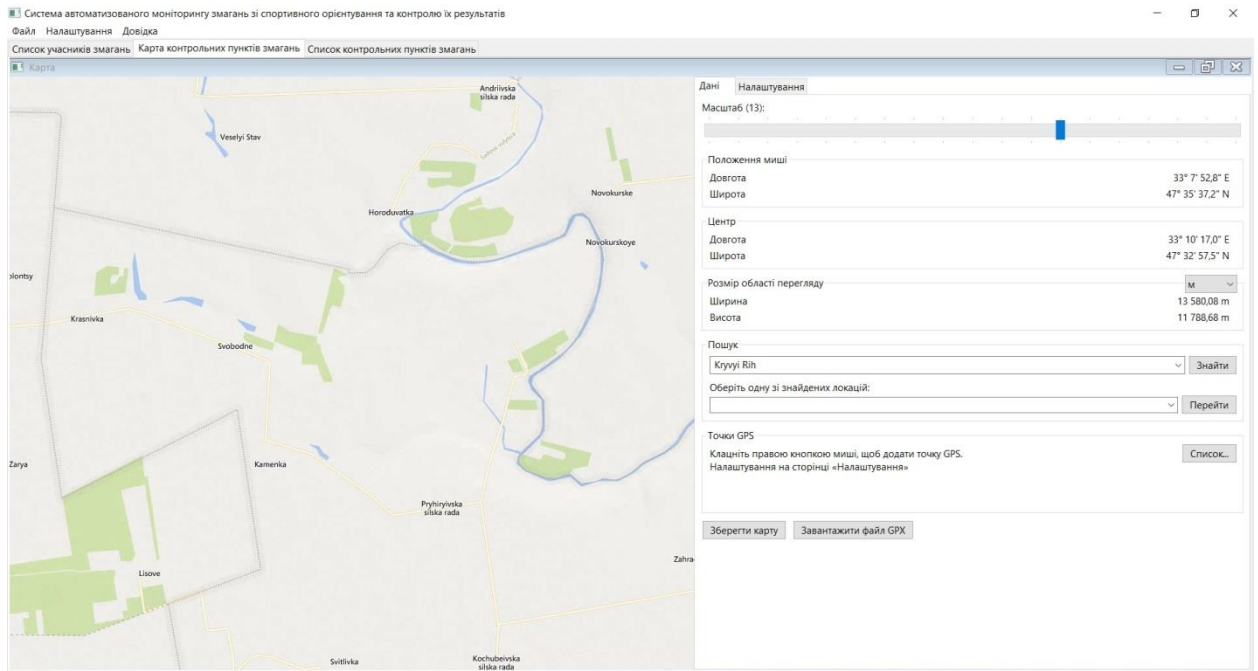


Рис.3.12 Робота з контрольними точками змагань та підтримка електронних карток з gps

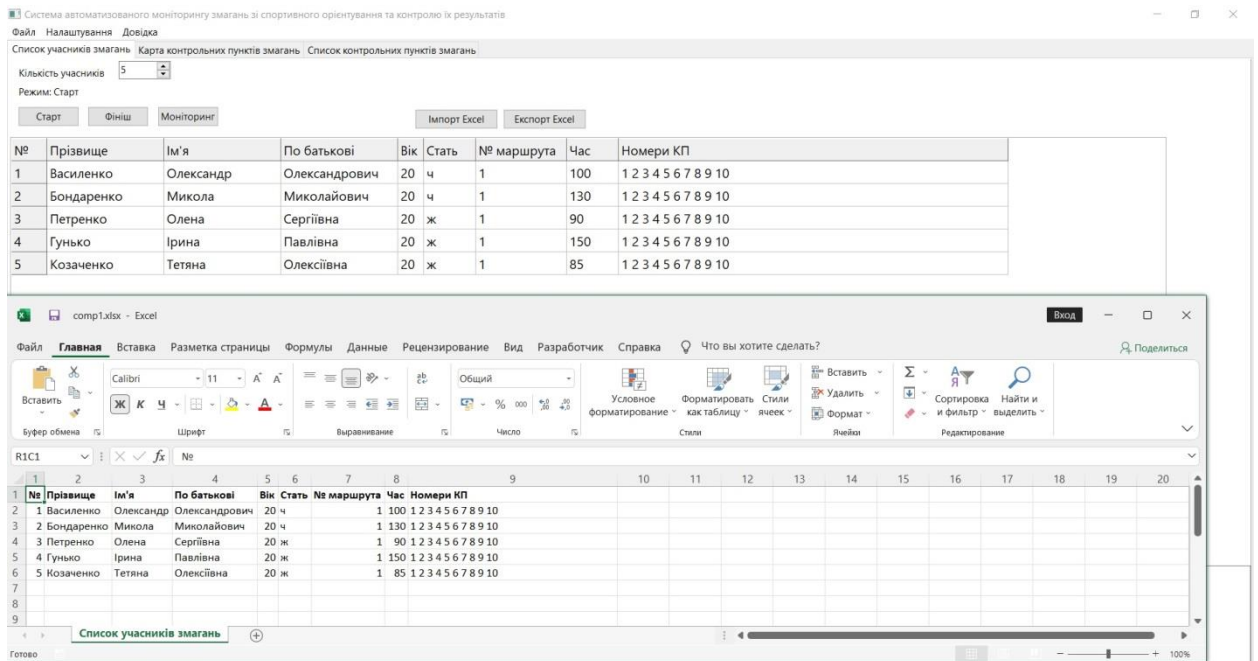


Рис.3.13 Завдання режиму роботи серверної станції (старт – 1, фініш – 2, моніторинг – 3, дамп брелоків – 4)

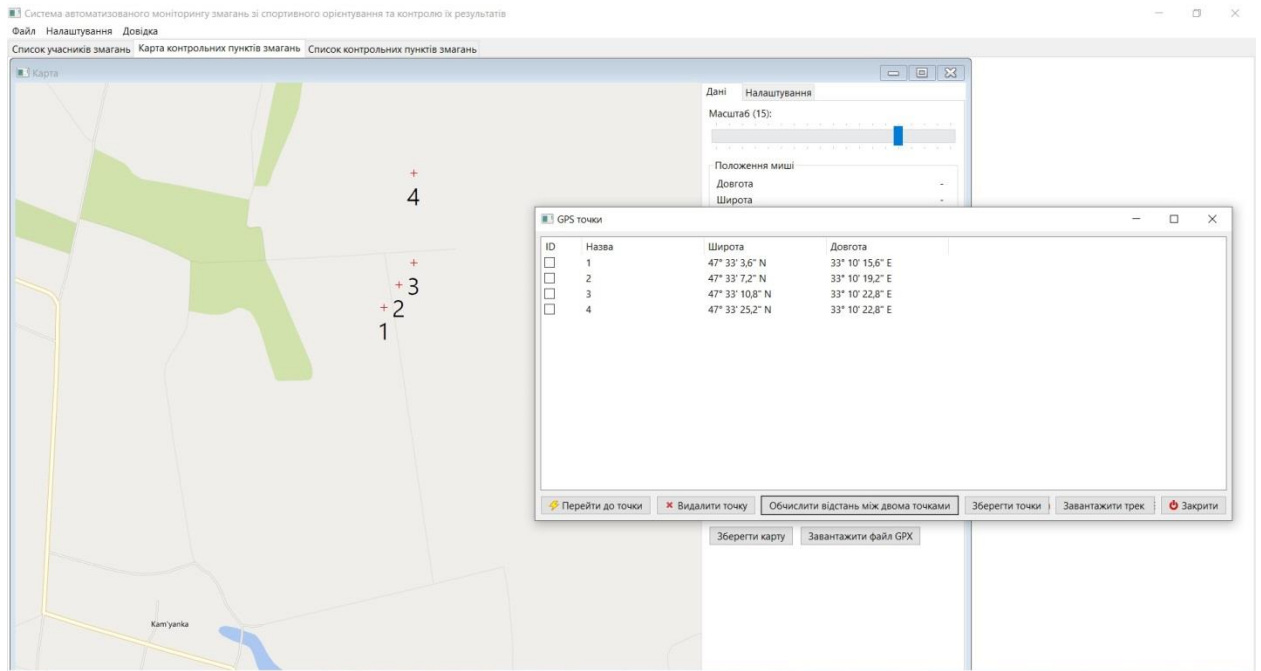


Рис.3.14 Відстеження положення базових станцій за їх GPS координатами

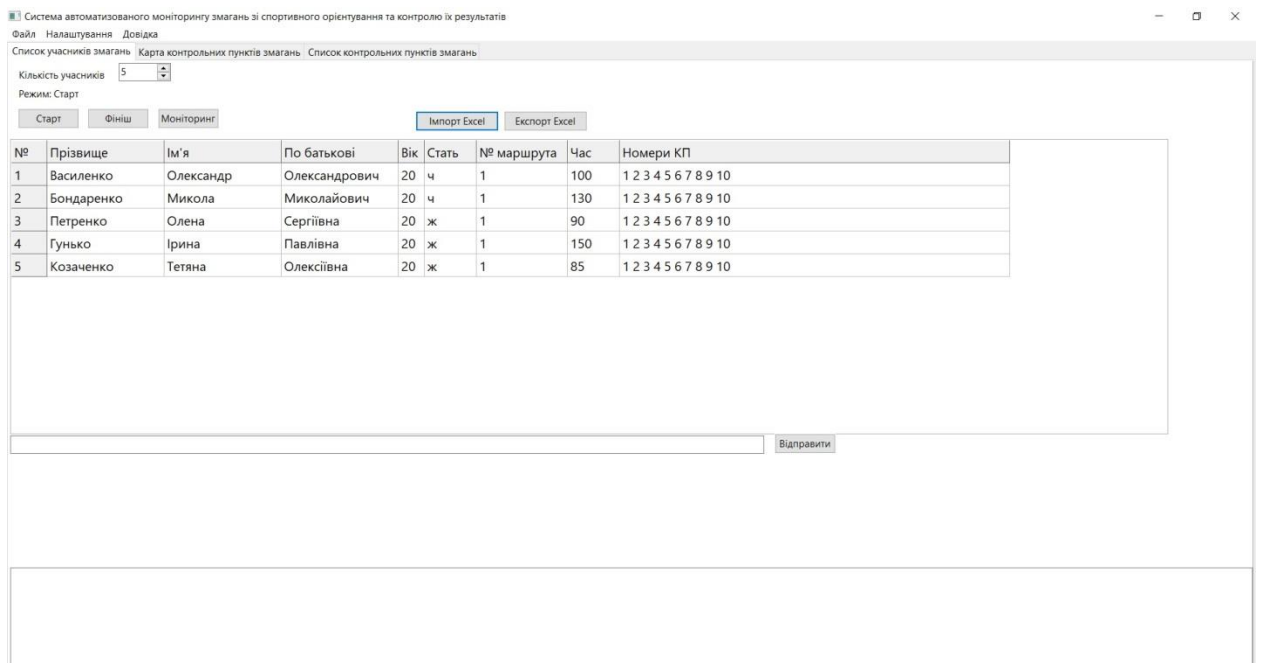


Рис.3.15 Отримання та обробка даних від базових станцій, які отримують по радіоканалу серверна станція

Система автоматизованого моніторингу змагань зі спортивного орієнтування та контролю їх результатів

Файл Налаштування Довідка

Список учасників змагань Карта контрольних пунктів змагань Список контрольних пунктів змагань Переможці

Кількість учасників 5

Режим: Старт

Старт Фініш Моніторинг Дамп Переможці Імпорт Excel Експорт Excel

№	Прізвище	Ім'я	По батькові	Вік	Стать	№ маршрута	Час	Номери КП
1	Василенко	Олександр	Олександрович	20	ч	1	100	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
2	Бондаренко	Микола	Миколайович	20	ч	1	130	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
3	Петренко	Олена	Сергіївна	20	ж	1	90	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
4	Гулько	Ірина	Павлівна	20	ж	1	150	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
5	Козаченко	Тетяна	Олексіївна	20	ж	1	85	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Рис.3.16 Таблиця результатів змагань

Система автоматизованого моніторингу змагань зі спортивного орієнтування та контролю їх результатів

Файл Налаштування Довідка

Список учасників змагань Карта контрольних пунктів змагань Список контрольних пунктів змагань Переможці

Жінки				Чоловіки				Загальний залік			
Місце	ПІБ	Вік	Час	Місце	ПІБ	Вік	Час	Місце	ПІБ	Вік	Час
1 місце	Козаченко Тетяна Олексіївна	20	85	1 місце	Василенко Олександр Олександрович	20	100	1 місце	Козаченко Тетяна Олексіївна	20	85

Рис.3.17 Відображення переможців з віком та часом проходження дистанції.

Висновки до розділу 3

У розділі описано програмну та апаратну частини роботи. Викладено чіткий опис принципів роботи програмної частини та наведено розроблені алгоритми у вибраних середовищах програмування, а саме Arduino для апаратної частини приладу та Lazarus для структурування, відображення та обробки даних отриманих з зовнішніх пристроїв. Наведені приклади розробленого інтерфейсу.

Проаналізовано функціональні компоненти апаратної частини та відтворено у вигляді схем, на яких чітко видно складові елементи приладу та зв'язок між ними. Також відображено аналіз вартості складових компонентів приладу та як результат відтворено у вигляді таблиць, на яких можна побачити ціну кожного складового елемента.

ВИСНОВКИ

Проаналізувавши правила та процес проведення змагань зі спортивного орієнтування, було виявлено, що вітчизняні змагання регіонального рівня, в яких немає достатнього фінансування, не можуть дозволити собі системи для точного та коректного отримання даних про результати участі. Судді отримують результати вручну. Через це багато отриманих даних є не точними та можуть бути сфальсифікованими.

Наявні на ринку аналоги відповідають усім стандартам та критеріям, за якими можна проводити змагання та отримувати точні результати. Через високу ціну не можливе використання таких систем під час проведення змагань зі спортивного орієнтування в Україні.

Проаналізувавши готові рішення, було сформульовано критерії, яким повинен відповідати розроблений прилад. При цьому не втративши своїх функціональних можливостей та матиме доступну ціну.

Головним елементом апаратної частини приладу став мікроконтролер STM32, на основі якого була розроблена система для отримання точних даних, передачі їх за допомогою технології LORA та подальша обробка даних.

Середовищем створення алгоритмів для відповідної роботи обраного електронного функціоналу стало Arduino. Розроблені програми проаналізувати та відкориговані у процесі тестування системи, тим самим зробивши максимально коректною апаратно-програмну частину для отримання даних.

Для створення програми обробки даних було обрано середовище програмування Lazarus через його кросплатформність, швидкість та простоту розробки інтерфейсу в результаті чого було отримано наступні функціональні можливості: робота з таблицею змагань та контрольними

точками, моніторинг змагань, роботи з брилками спортсменів, підведення підсумків змагань.

Створений прилад побудований на основі загальнодоступних електронних елементів та немає аналогів у своїй ціновій категорії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Orienteering [Електронний ресурс] / International Orienteering Federation - Режим доступу: <https://orienteering.sport/orienteering/>.
2. Спортивне орієнтування [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%BE%D882%D80%.1%% % B2% D0% BD% D0% B5_% D0% BE% D1% 80% D1% 96% D1% 94% D0% BD% D1% 82% D1% 83% D0% B2% D0% B0% D0% BD % D0% BD% D1% 8F.
3. Федерація спортивного орієнтування України. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.orienteering.org.ua/>
4. Правила спортивних змагань зі спортивного орієнтування, затверджені рішенням Президії Федерації спортивного орієнтування України від 14.11.2015 / [Редакційна комісія: В.В. Г. Кір'янов, М. В. Опанасенко, Ю. А. Штемплер, А. Б. Калінкін, А.О. Стрижак, В. Ж. Петров, О. А. Постельняк]. - Режим доступу: http://umansatur.at.ua/Norm-prav_baza / file_tur / pravila_sportivnikh_zmagan_zi_sportivnogo_orientu.pdf.
- 5th World Orienteering Championships 2018 Long [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://photos.google.com/share/AF1QipOCPQdg-xS-dhUVyv0TKR2bbyE7HKxlN_7MupBSZU_jeJle9yfEzpUHhyPUQPoHwA? Key=c3hW2RbVEMhny?
6. SFR system [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.sportssystem.ru>.
7. SPORTident [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://sportident.com>.
8. Ny TFP (Touch-Free Pro) [Електронний ресурс] / Emit - Режим доступу: <https://emit.no/nettbutikk/orientering/ny-tfp-touch-free-pro/>.

9. LAMP (software bundle) [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
[https://en.wikipedia.org/wiki/LAMP_\(software_bundle\)](https://en.wikipedia.org/wiki/LAMP_(software_bundle)).
10. Blue Pill [Електронний ресурс] / STM32-base. - Режим доступу:
<https://stm32-base.org/boards/STM32F103C8T6-Blue-Pill.html>.
11. Wi-Fi & Bluetooth MCUs and AIoT Solutions [Електронний ресурс] / Espressif Systems. - Режим доступу: <https://www.espressif.com/>.
12. Introduction to the STM32 Blue Pill (STM32duino) [Електронний ресурс] / Predictable Designs. - Режим доступу:
<https://predictabledesigns.com/introduction-stm32-blue-pill-stm32duino/>.
13. RC522 RFID Reader Module [Електронний ресурс] / Microcontrollerslab. - Режим доступу: <https://microcontrollerslab.com/rc522-rfid-reader-pinout-arduino-interfacing-examples-features/>.
14. WeMos D1 mini Lite [Електронний ресурс] / arduino-projekte.info Everything about Arduino and Co. - Режим доступу: https://arduino-projekte.info/wp-content/uploads/2017/03/wemos_d1_mini_pro_pinout.png.
15. Васильєв О. Ю. Електронна відмітка для спортивного орієнтування / Олег Юрійович Васильєв, Степанюк Олександр Миколайович.
// Новітні комп'ютерні технології. - Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет», 2017. - Том XV. - С. 254-256.
16. MFRC-522 RFID 13,56MHz čitač [Електронний ресурс] / e-radionica.com. - Режим доступу: <https://e-radionica.com/en/rfid-reader-mfrc-522-with-rfid-card.html>.
17. Laravel [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/Laravel>.

18. Arduino [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino>.
19. WEMOS Electronics [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
<https://wiki.wemos.cc>.
20. STM32 Flash loader demonstrator (UM0462) [Електронний ресурс]
/ С.Т.Мікроелектроніка. - Режим доступу: <https://www.st.com/en/development-tools/flasher-stm32.html>
21. AN3155 Примітка до застосування. USART protocol used in the STM32 bootloader [Електронний ресурс] / STMicroelectronics. - Режим доступу:
www.st.com/resource/en/application_note/cd00264342-usart-protocol-used-in-the-stm32-bootloader-stmicroelectronics.pdf.
22. Arduino для STM32 [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
<http://www.stm32duino.com/>.
23. Datasheet stm32f103c8t6 [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>
24. Datasheet sx1278 [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
<https://datasheetspdf.com/pdf-file/923298/SemtechCorporation/SX1278/1>.
25. Datasheet pn532 [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
https://www.nxp.com/docs/en/nxp/data-sheets/PN532_C1.pdf
26. Datasheet Neo 7 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-7_DataSheet_%28UBX-13003830%29.pdf.
27. Федерація спортивного орієнтування України [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://orienteering.org.ua/>

28. Правила змагань зі спортивного орієнтування [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://cloud.orienteing.org.ua/s/TNbmHtG9EdsMrjD>
29. Arduino. Language Reference [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.arduino.cc/reference/en/>
30. Опис Free Pascal та Lazarus [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [wiki.freepascal.org / Overview_of_Free_Pascal_and_Lazarus](http://wiki.freepascal.org/Overview_of_Free_Pascal_and_Lazarus) / ru - Короткий опис можливостей цих засобів розробки
31. Підручник Lazarus [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [wiki.freepascal.org / Lazarus_Tutorial](http://wiki.freepascal.org/Lazarus_Tutorial) / ru - Підручник для початківців і детальний опис інтерфейсу Lazarus IDE
31. Інструменти IDE Lazarus [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [wiki.freepascal.org / Lazarus_IDE_Tools](http://wiki.freepascal.org/Lazarus_IDE_Tools) / ru - Підручник проміжного рівня про коди завершення і інших інструментах IDE
32. Підручник Lazarus та Бази даних [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [wiki.freepascal.org / Lazarus_Database_Tutorial](http://wiki.freepascal.org/Lazarus_Database_Tutorial) / ru
33. Developing with Graphics [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [wiki.freepascal.org / Developing_with_Graphics](http://wiki.freepascal.org/Developing_with_Graphics)
34. Тао Yue's [Електронний ресурс]. - Режим доступу: www.taoyue.com/tutorials/pascal/
35. Об'єктно орієнтоване програмування в FreePascal і Lazarus [Електронний ресурс]. Режим доступу: [wiki.freepascal.org / Object_Oriented_Programming_with_FreePascal_and_Lazarus](http://wiki.freepascal.org/Object_Oriented_Programming_with_FreePascal_and_Lazarus) / ru
36. Програмування за допомогою об'єктів і класів [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [wiki.freepascal.org / Programming_with_Objects_and_Classes](http://wiki.freepascal.org/Programming_with_Objects_and_Classes) / ru

37. Запуск зовнішніх програм [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [wiki.freepascal.org / Executing_External_Programs / ru](http://wiki.freepascal.org/Executing_External_Programs/ru)
38. Створення багатопоточних додатків [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [wiki.freepascal.org / Multithreaded_Application_Tutorial / ru](http://wiki.freepascal.org/Multithreaded_Application_Tutorial/ru)
39. Streaming components [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [wiki.freepascal.org / Streaming_components](http://wiki.freepascal.org/Streaming_components)
40. Бібліотеки в Lazarus / FPC [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [wiki.freepascal.org / Lazarus / FPC_Libraries / ru](http://wiki.freepascal.org/Lazarus/FPC_Libraries/ru)
41. Daemons and Services [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [wiki.freepascal.org / Daemons_and_Services](http://wiki.freepascal.org/Daemons_and_Services)
42. Lazarus Inline Assembler [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [wiki.freepascal.org / Lazarus_Inline_Assembler](http://wiki.freepascal.org/Lazarus_Inline_Assembler)
43. Lazarus For Cross-Platform Development [Електронний ресурс]. - Режим доступу: www.linuxjournal.com/article/10502