

**РОМАНЕНКО АНТОН**

Національний технічний університет України  
«Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID ID: [0009-0007-9266-0207](https://orcid.org/0009-0007-9266-0207)  
e-mail: [anton.romanenko14@gmail.com](mailto:anton.romanenko14@gmail.com)

**КОРОТКИЙ ЄВГЕН**

Національний технічний університет України  
«Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID ID: [0000-0001-8302-4873](https://orcid.org/0000-0001-8302-4873)  
e-mail: [korotkiy.eugene@gmail.com](mailto:korotkiy.eugene@gmail.com)

**КОНТРОЛЕР ВУЗЛА APRS МЕРЕЖІ**

*Запропоновано рішення на основі APRS технології для альтернативного зв'язку між користувачами в умовах "блекауту", за відсутності покриття глобального зв'язку. Описано структуру та принцип дії технології APRS. Розглянуто процес проектування та конфігурування контролера вузла мережі APRS, а також використання APRS для передачі даних між мобільними пристроями. Запропоноване рішення являє собою блок контролера вузла APRS мережі, що приєднується до рації через аудіо гарнітуру. Взаємодія розробленого контролера вузла мережі APRS з мобільними пристроями користувача виконується через бездротове з'єднання з застосуванням послідовного порту Bluetooth. Апаратна частина реалізована на базі доступного мікроконтролера серії ESP32, що знижує час впровадження рішення, завдяки доступності та низькій вартості складових. Проєкт реалізовано на базі відкритого програмного забезпечення, що дозволяє модифікувати алгоритм роботи під визначені задачі, зокрема адаптувати контролер для керування віддаленими системами.*

*Ключові слова: APRS, ESP32, AFSK, частотна маніпуляція, радіо гарнітура.*

ROMANENKO ANTON

National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

KOROTKIY IEVGEN

National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

**TERMINAL NODE CONTROLLER FOR APRS NETWORK**

*A solution based on APRS technology is proposed for alternative communication between users in "blackout" conditions, in the absence of global communication coverage. The structure and operation principle of APRS technology are described. The process of designing and configuring the controller of the APRS network node is considered, as well as the use of APRS for data transmission between mobile devices. In particular, the frame format of the AX.25 protocol used in APRS, the KISS protocol for data transmission from the client mobile device through the serial interface, and the implementation of the physical layer of APRS, including AFSK modulation/demodulation and scrambling, are discussed. The proposed solution is an APRS network node controller, which is connected to the walkie-talkie radio via an audio headset port. Interaction between the developed APRS network node controller and user mobile devices is carried out via a wireless connection using a Bluetooth serial port. The hardware is based on the affordable ESP32 microcontroller series, which reduces the time of solution implementation due to the availability and low cost of components. The schematic solutions used to connect to the walkie-talkie's headset are described. The project is implemented based on the open-source ESP32TNC software, which allows modifying the operation algorithm for specific tasks, including adapting the controller for remote system control. A prototype of the proposed solution has been created. Oscillogram and spectrum measurements of the AFSK-modulated signal were performed for the developed prototype. Using the developed solution, maximum communication distance was measured in a densely built-up city, namely in the Dniprovskiy District of Kyiv. During the research, APRSdroid was used as client software, and Baofeng UV-5R was used as the walkie-talkie radio with a declared transmission power of 5 W.*

*Keywords: APRS, ESP32, AFSK, frequency-shift keying, walkie-talkie.*

**Постановка проблеми**

Людство у значній мірі залежить від електроенергії. На сьогодні це сучасний стандарт життя, без якого неможливо уявити світ. Ми використовуємо енергоресурси в будь-якій галузі, від побутових потреб до виробництва та науки.

Від наявності електроенергії залежать безпека та комфорт людей. Якщо електроживлення відключається на тривалий час, можуть виникнути серйозні проблеми, такі як відсутність водопостачання, відсутність опалення та кондиціонування повітря, зупинка роботи лікарень, промислових підприємств та інші негативні наслідки. Саме із такою проблемою населення України зіштовхнулося восени 2022-го року.

Наслідки ворожих атак по енергетичній інфраструктурі країни привели до проблем зв'язку. Відсутність резервного живлення у інтернет провайдерів позбавляє на час «блекауту» (англ. Blackout – аварійні відключення електроживлення) людей доступу до глобальної мережі інтернет. У регіонах з аварійними відключеннями електроенергії базові станції операторів мобільного зв'язку або знеструмлюються і вимикаються, або перевантажуються внаслідок надмірної кількості запитів від абонентів.

У відновленні комунікацій допомагають термінали супутникового зв'язку. Так у великому попиті стали системи Starlink компанії "SpaceX". Їх використання значно полегшило проблему передачі інформації

на час відсутності послуг зв'язку від інтернет провайдерів та мобільних операторів. Єдиною проблемою такого рішення є висока ціна: вартість терміналу від 500\$ та місячна абонплата порядку 100\$. Для постійного зв'язку з глобальною мережею Інтернет це один із найдоступніших варіантів. Однак якщо потрібне з'єднання із декількома абонентами, що можуть знаходитись у радіусі району або міста, на допомогу приходять радіоаматорські технології. Сучасні можливості дозволяють будувати радіомережі як на локальному, так і на глобальних рівнях. Однією із таких технологій є APRS.

Метою даної роботи є дослідження технології радіозв'язку APRS та розробка базового терміналу для побудови локальних радіомереж (рис. 1). Запропоноване рішення дозволить реалізувати зв'язок з віддаленим терміналом у іншої людини шляхом передачі цифрових повідомлень з використанням доступних аматорських радіостанцій.



Рис. 1. Приклад використання APRS в умовах відсутності глобального зв'язку. Комунікація трьох APRS станцій у місті, коли внаслідок щільної забудови та низької потужності антени передавача одна з рацій не може встановити зв'язок з іншими клієнтами

### Аналіз APRS технології

APRS[1] – це акронім до назви Automatic Packet Reporting System, що є системою автоматичного пакетного обміну інформацією через радіоканал. Кожен пакет має у своїй структурі системну інформацію про адреси приймача та передавача, тип пакету (інформаційний чи системний), тип протоколу, що лежить в основі пакету, безпосередньо дані та контрольну суму для перевірки цілісності даних.

Особливість пакетного радіо полягає в тому, що воно дозволяє передавати данні в повітрі з високою точністю та надійністю. Технологія дозволяє передавати інформацію на великі відстані, що досягається збільшенням потужності радіостанції і стає у нагоді в ситуаціях, коли потрібно забезпечити зв'язок на віддалених територіях, де немає іншого доступного зв'язку. Технологія дозволяє передавати дані будь-якого формату. Зазвичай APRS використовують для передачі місцезнаходження та метеоданих, але протокол AX.25, що лежить в основі пакетної передачі APRS дозволяє передавати будь-які дані. Для цивільного населення можлива передача у відкритому радіочастотному діапазоні від 144 до 148 МГц, та від 430 до 450 МГц.

Протокол передачі AX.25 [2] – це протокол каналного рівня за моделлю OSI, що призначений для встановлення з'єднання між вузлами, виявлення помилок передачі, інкапсуляції корисної інформації. У структурі кадру протоколу містяться поля преамбули та постамбули, які використовуються для синхронізації та повідомлення про початок передачі даних чи кінець кадру. Поле адреси містить інформацію про приймач та передавач кодування яких можливе літерами та цифрами. Часто використовують радіоаматорські позивні на зразок DP0MIR, UZ3AK. Поле керування визначає тип кадру (інформаційний, керування, нумерований). У інформаційному кадрі присутнє поле протоколу, для визначення наявності мережевого рівня. Корисна інформація містить дані прийняті від користувача для передачі. Присутня також контрольна сума, за алгоритмом шістнадцятибітного циклічного надлишкового коду для перевірки цілісності переданого кадру.

У випадку передачі байту, який відповідає коду преамбули чи постамбули, для уникнення помилок комунікації у випадку коли передавач фіксує передачу послідовності з п'яти одиниць, додається додатковий нульовий біт, тим самим дозволяючи уникнути послідовності 0x7E що відповідає початку чи кінцю кадру. У приймачі після отримання послідовності п'яти бітів логічної одиниці видаляється наступний біт, тим самим повертаючи інформацію у початкову послідовність.

Таблиця 1

### Формат кадру протоколу AX.25

Тип кадру	Структура кадру						
	Преамбула	Адреса	Поле керування	Поле визначення протоколу	Корисна інформація	Контрольна сума	Постамбула
Кадр інформації	0x7E	112 біт	8 біт	8 біт	N * 8 біт	16 біт	0x7E
Кадр керування	Преамбула	Адреса	Поле керування		Корисна інформація	Контрольна сума	Постамбула
	0x7E	112 біт	8 біт		N * 8 біт	16 біт	0x7E

Для налагодження радіомережі користувачу необхідна рація та пристрій, що забезпечує інтерфейс між клієнтом та радіоапаратурою. Таким пристроєм виступає контролер вузла APRS мережі (англ. terminal node controller, TNC)[4]. У провідних раціях, наприклад Motorola (DP4800E) та Anytone (AT-D878UVII), наявний вбудований термінал, що дозволяє використовувати лише рацію для передачі APRS повідомлень. В бюджетних варіантах рацій існує можливість імплементувати TNC, як додатковий зовнішній модуль. Зазвичай TNC під'єднують до комп'ютера (або мобільного пристрою) через послідовний порт. Рацію під'єднують до TNC через інтерфейс аудіо гарнітури. Задача TNC контролера приймати дані від клієнту (комп'ютера), переформатувати їх у відповідний пакет AX.25, забезпечити модуляцію, кодування і скремблювання та видати на аудіо гарнітуру рації. А також забезпечити приймання модульованого сигналу з аудіо гарнітури рації, демодуляцію/декодування бітового потоку прийнятого повідомлення і його передачу на клієнт. В TNC підтримуються наступні типи модуляції: Frequency Shift Keying (FSK), Phase Shift Keying (PSK) та Audio Frequency Shift Keying (AFSK), які використовують для передачі цифрових даних через радіоканал.

Передачу даних на TNC термінал від клієнту можливо реалізувати через протокол KISS TNC [3]. Протокол реалізований для стандартизації процесу передачі даних та інтерфейсу зв'язку клієнту та контролера вузла. Стандарт протоколу відповідає передачі кадрів AX.25 через послідовний порт (наприклад, UART, RS-232). Протокол може працювати у двох режимах: керування та передача. Початок кадру (преамбула) передається для синхронізації та інформування контролера вузла про початок передачі нового кадру. Поле команди передається для визначення типу кадру, та порту передачі TNC. Далі передається корисна інформація у вигляді кадру протоколу AX.25, а саме поля адреси, керування та даних. Постамбула визначає кінець кадру.

Таблиця 2

Формат кадру передачі інформації протоколу KISS TNC			
Структура кадру			
Преамбула	Команда	Корисна інформація	Постамбула
0xC0	1 байт	Кадр протоколу AX.25	0xC0

### Передача інформації на фізичному рівні

Для передачі інформації через радіоканал використовується модуляція несучого гармонічного сигналу корисними даними. У APRS системах на фізичному рівні використовується частотна маніпуляція (англ. Frequency Shift Keying) (рис. 2).

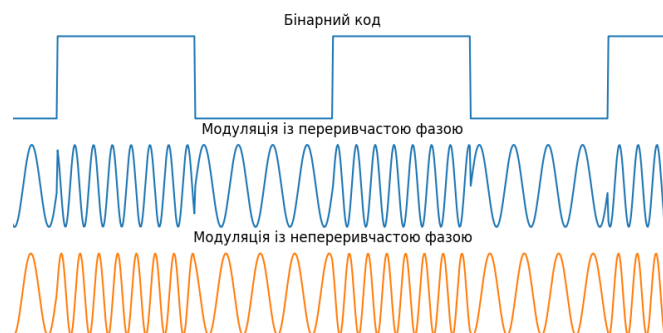


Рис. 2. Форма FSK модульованого сигналу отримана із вхідного бінарного коду

Даний метод цифрової модуляції полягає у зміні частоти несучої радіо хвилі для передачі цифрових повідомлень. У FSK дві різні частоти гармонічного коливання використовуються для кодування двох цифрових значень (0 та 1). У APRS застосовано стандарт аудіо частотної маніпуляції (англ. Audio Frequency Shift Keying, AFSK), кодування відбувається у двох аудіо тонах з різними частотами (1200 Гц та 2200 Гц), оскільки передача модульованих сигналів виконується через інтерфейс аудіо гарнітури рації.

Реалізувати FSK модулятор можна використовуючи два окремих генератори гармонічного сигналу, налаштованих на частоти логічного нуля та одиниці. Шляхом мультиплексування сигналів від генераторів відповідно до значень бітів модулюючої послідовності формується сигнал на виході модулятора. Такий підхід відомий, як частотний модулятор із переривчастою фазою (рис. 3). Також існує реалізація із непереривчастою фазою на єдиному генераторі з цифровим керуванням (англ. Numerically-controlled oscillator, NCO), інкремент фази якого змінюється залежно від значення біту, що передається. Для радіо зв'язку важливим аспектом є обмеження ширини спектру випромінюваного сигналу. В реалізації модулятора з розривом фази має місце розширення спектру сигналу, тоді як генератор на базі NCO дозволяє звужити спектр модульованого сигналу.

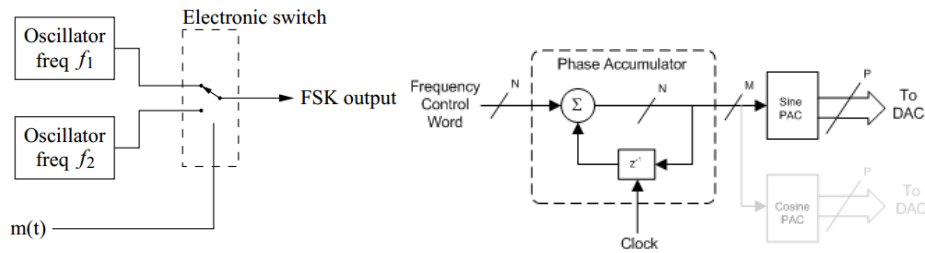


Рис. 3. Два типи FSK модуляторів: у лівій частині FSK модулятор з розривами фази, у правій частині FSK модулятор з неперервною фазою на основі гармонічного осцилятора з цифровим керуванням

Існує ряд методів демодуляції FSK модульованого сигналу. Найбільш поширеними є синхронний та асинхронний демодулятори (рис. 4).

Ідея асинхронного методу полягає у відсутності синхронізації із несучою частотою прийнятого радіо сигналу. Отриманий сигнал пропускають через два смугових фільтри для виділення гармонічних сигналів, що відповідають логічному нулю та логічній одиниці. Далі обробка ділиться на дві гілки: обробка гармонічного сигналу, що відповідає логічній одиниці, з виходу відповідного смугового фільтру та обробка гармонічного сигналу, що відповідає логічному нулю з виходу відповідного смугового фільтру. Сигнал з виходу кожного смугового фільтру проходить через відповідний детектор огинаючої для перетворення гармонічного сигналу в постійний рівень сигналу. На кінцевому етапі знаходять значення демодульованого біту, як різницю значень на виходах детекторів огинаючої обох гілок. Перевагою асинхронного демодулятора є простота реалізації.

У синхронному демодуляторі виконується підлаштування до несучої частоти прийнятого модульованого сигналу, що дозволяє підвищити якість демодуляції врахувавши відстройку по частоті викликану не ідеальністю генераторів опорної частоти передавача і приймача. Підлаштування по частоті зазвичай реалізується з використанням блоку фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Синхронний демодулятор складніший в реалізації, однак дозволяє зменшити кількість бітових помилок для випадків високого рівня завад в каналі зв'язку та низької потужності прийнятого сигналу.

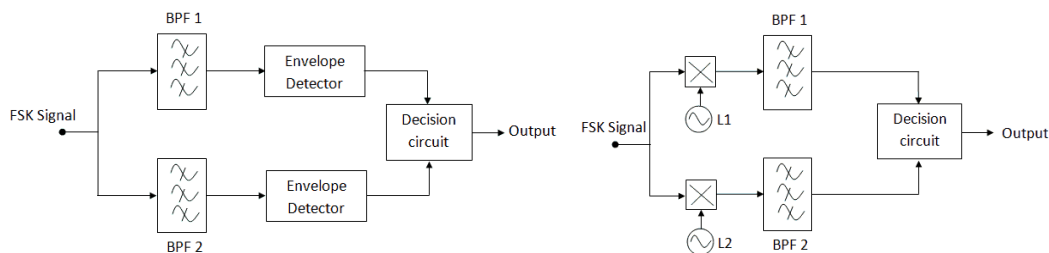


Рис. 4. Два типи FSK демодуляторів: зліва асинхронний демодулятор, справа синхронний демодулятор

Для зменшення ймовірності помилок передачі бітів можливе використання додаткового кодування інформації [8]. Під час радіопередачі сигнал може зазнавати різноманітних спотворень, таких як відбивання від поверхонь, розсіювання, згасання та інші ефекти, що можуть призвести до помилок під час демодуляції. Для зменшення впливу згаданих ефектів можливе застосування кодування. Зокрема, до методів підвищення завадостійкості відносять скремблювання (англ. Scrambling) та інвертоване кодування без повернення до нуля (англ. Non-Return-to-Zero Inverted). У випадку застосування кодування результуючий бітовий потік змінюється залежно від використаного способу кодування. У приймачі відповідно потрібно забезпечити декодування демодульованої бітової послідовності.

Принцип скремблювання полягає у кодуванні кадру даних у псевдо-випадкову послідовність бітів тієї ж довжини, що дозволяє підвищити якість синхронізації передавача і приймача. Існує два основних типи скремблерів: адитивний, мультиплікативний (рис. 5).

Адитивні скремблери виконують додавання за модулем два вхідного біту даних із бітом отриманим з генератора псевдо-випадкової послідовності бітів, побудованого, наприклад, на основі регістру зсуву з лінійним зворотним зв'язком (англ. Linear Feedback Shift Register, LFSR). У генератор завантажується початкове значення яке потім є і ключем для декодування (дескремблювання) інформації на приймачі. Особливістю такого підходу є уникнення залежності генератора від вхідного біту, що знижує вплив інформаційних бітів на згенеровану псевдовипадкову послідовність. При роботі з таким типом генератора потрібно зберігати ключ генерації та постійно завантажувати згаданий ключ в LFSR на початку операцій кодування/декодування.

Мультиплікативне скремблювання полягає у відсутності потреби зберігати ключ генерації, оскільки псевдовипадкова послідовність визначається бітами вхідного потоку даних. Такий тип скремблерів використовується у сфері телекомунікацій (мобільний зв'язок, супутниковий зв'язок, цифрове телебачення, тощо). У випадку бітових помилок при демодуляції є ймовірність хибного декодування сигналу.

Додатковою перевагою кодування є захист від несанкціонованого доступу до інформації, оскільки

не знаючи алгоритм кодування стає складно декодувати кадр інформації.

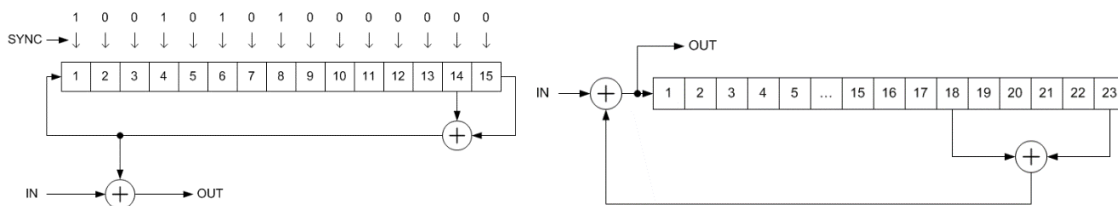


Рис. 5. Приклади схем адитивного та мультиплікативного скремблерів, що використовуються у телекомунікаційних протоколах модемного зв'язку

**Структурна схема апаратного забезпечення пристрою**

Структура розробленого пристрою складається із аудіоінтерфейсу, та програмної реалізації на базі мікроконтролера ESP32 для обробки даних (Рис. 8). Використаний мікроконтролер доступний і має низьку ціну, що дозволяє знизити собівартість пристрою. Мікроконтролер має двоядерну архітектуру Tensilica Xtensa LX6 (існує також серія на відкритій архітектурі RISC-V) [5], що дозволяє розділити навантаження поміж двома ядрами. В мікроконтролері присутній вбудований інтерфейс Bluetooth, який можливо налаштувати на профіль послідовного порту для комунікації з клієнтом. Дана серія мікроконтролерів відома суттєвою підтримкою серед спільноти розробників та широким переліком оціночних плат для прототипування. Для проекту обрана відлагоджувальна плата ESP-WROOM-32 у якій реалізована схема живлення на базі перетворювача напруги AMS1117, що дозволяє жити пристрій від павербанку у разі відсутності живлення з мережі, перетворювач рівнів CP2102 для зручного з'єднання із ПК для програмування мікроконтролера без використання зовнішніх програматорів, реалізована антена на друкованій платі для комунікації через протокол Bluetooth, Wi-Fi (рис. 6).



Рис. 6. Плата розробки ESP-WROOM-32

Аудіоінтерфейс – аналогова частина проекту, призначена для передачі AFSK модульованого звукового сигналу між мікроконтролером та аудіо інтерфейсом рації, а також для керування тангентою (Push-to-talk вхід) рації (рис. 7). Напряга з аудіо виходу рації обмежується для уникнення збоїв у роботі аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера. Аудіо вхід рації потребує фільтрації сигналу з цифро-аналогового перетворювача мікроконтролера та регулювання амплітуди AFSK модульованого сигналу, що передається на мікрофон рації. У якості рації обрано бюджетну модель Baofeng UV-5R. Із дослідження аудіо гарнітури рації визначено, що перехід між станом прийому та станом передачі відбувається підтяжкою входу тангенти до “землі”.

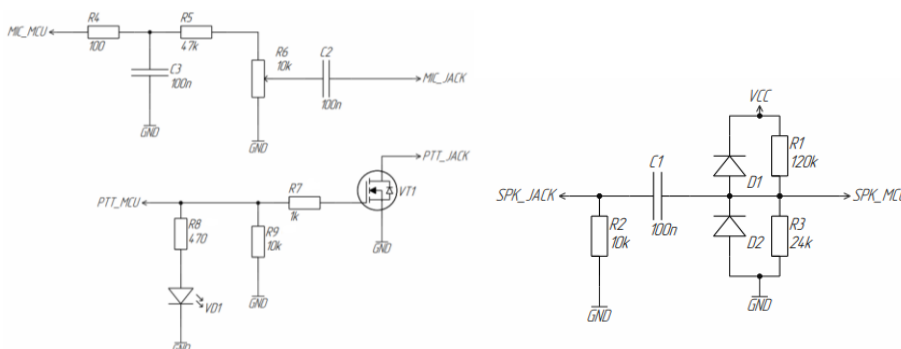


Рис. 7. Схематичне рішення для аудіоінтерфейсу пристрою

Таблиця 3

**Виходи аудіоінтерфейсу**

Контакт схеми	Призначення
MIC MCU	Контакт мікроконтролера для передачі аудіо сигналу на рацію
PTT MCU	Контакт керування режимом прийому/передачі рації
SPK MCU	Контакт АЦП мікроконтролера
MIC JACK	Вхід на мікрофон рації
PTT JACK	Вхід керування тангент рації
SPK JACK	Вихід динаміку рації

Програмно реалізовані блоки:

- FSK модулятор/демодулятор - програмно реалізований модуль обробки аналогового сигналу. Даний



модуль потрібен для модуляції/демодуляції даних протоколу AX.25. Принцип AFSK модуляції/демодуляції описаний вище.

- Блок AX.25 - програмно реалізований модуль для обробки даних на рівні протоколу AX.25.
- Блок KISS TNC - програмно реалізований модуль обробки даних на рівні протоколі KISS. Застосування полягає у підготовці пакету відповідно стандарту протоколу до відправки на клієнт, декапсуляції даних прийнятих з клієнта та відправці їх на перетворення у пакет протоколу AX.25.
- Інтерфейс взаємодії - програмно реалізований модуль передачі-прийому даних з клієнта користувача. Для даного проєкту обрано Bluetooth з'єднання. На ринку радіо компонентів можливо за низьку ціну знайти готові модулі [7], налаштовані на режим Bluetooth SPP (Serial Port Profile), що є заміною дротового послідовного інтерфейсу та дозволяє віддалено користуватись станцією (в залежності від потужності бездротового модулю). Bluetooth інтерфейс наявний як у використаному мікроконтролері, так і в мобільних пристроях, що виступають клієнтами. Також Bluetooth інтерфейс все частіше доступний у ноутбуках та персональних комп'ютерах.

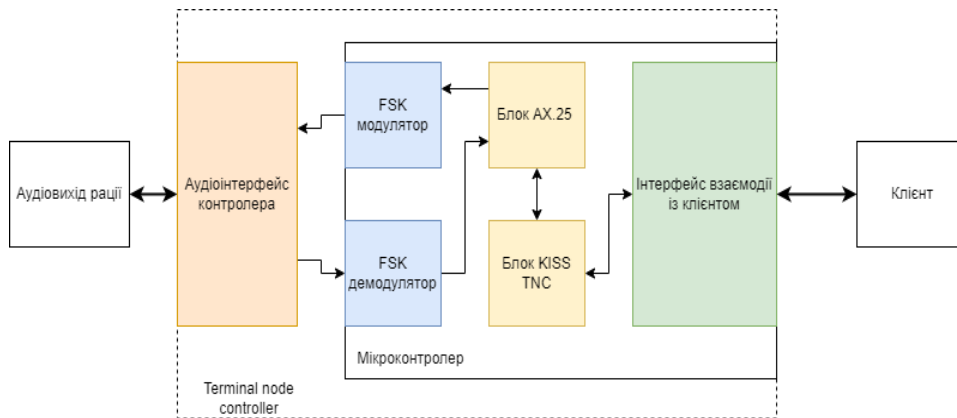


Рис. 8. Структура пристрою

**Програмне забезпечення проєкту**

Для контролера вузла обрано відкрите програмне забезпечення ESP32TNC (рис. 9) [6]. Проєкт побудований на базі офіційних бібліотек Espressif IoT Development Framework з використанням операційної системи реального часу FreeRTOS, що дозволяє реалізувати багатозадачність у програмі та збільшити ефективність використання ресурсів мікроконтролера. У файлі main.c відбувається виклик функцій ініціалізації модулів.

Таблиця 4

**Модулі програмного забезпечення**

№	Назва модулю	Призначення модулю програмного забезпечення
1	uart.c	Інтерфейс взаємодії з клієнтом. Реалізоване налаштування комунікації через послідовний порт UART чи TCP/UDP з'єднання.
2	kiss.c	Обробка прийнятих даних на відповідність протоколу KISS TNC, визначення типу кадру, передача поля інформації у буфер даних у випадку інформаційного кадру, керування налаштуваннями з'єднання контролера вузла у випадку кадру керування.
3	tnc.c	Модуль зчитування даних з буферу аналогового-цифрового перетворювача, декодування прийнятих бітів.
4	decode.c	Модуль для декодування даних інвертованого кодування без повернення до нуля та кадру протоколу AX.25. Передача отриманої інформації у буфер даних для інтерфейсу взаємодії з користувачем.
5.	filter.c	Смуговий нерекурсивний фільтр прийнятих дискретних відліків аналогового сигналу з АЦП.
6.	send.c	Модуль формування кадру каналного рівня протоколу AX.25 для передавача. Керування входом тангенти рації для налаштування на передачу у радіоефір.
7.	i2s_adc.c	Модуль налаштування аналогового-цифрового перетворювача.
8.	timer.c	Модуль налаштування модулятора AFSK сигналу.

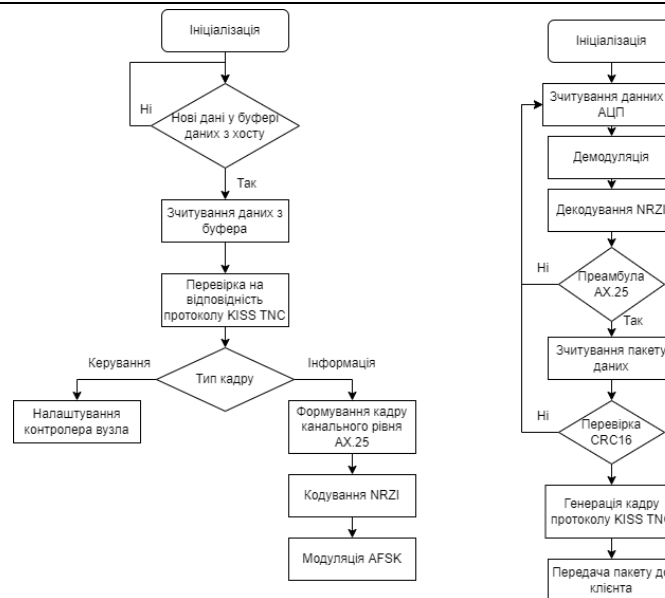


Рис. 9. Спрощений алгоритм прийому та передачі даних

### Апробація результатів роботи пристрою

Після збирання двох тестових прототипів пристрою була досліджена передача модульованого AFSK сигналу на рацію та визначення відповідності його спектру до специфікації. Виміри проводились завдяки цифровому осцилографу та аналізатору спектру у складі Analog Discovery 2 (рис. 10, 11).

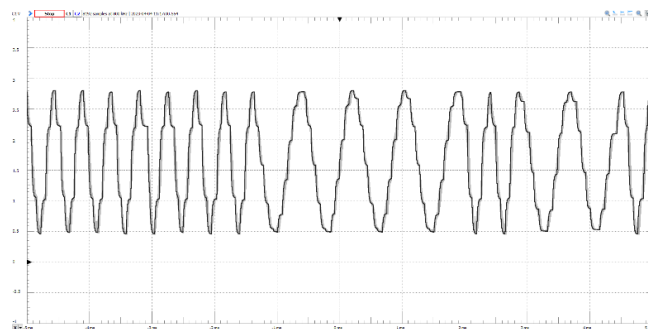


Рис. 10. Осцилограма модульованого AFSK сигналу. Можна спостерігати відсутність розриву фази при зміні значень бітів, що передаються

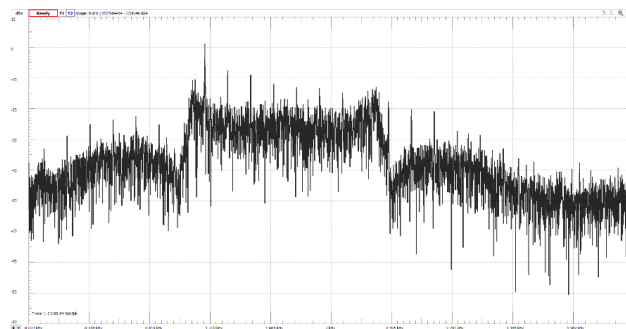


Рис. 11. Спектр AFSK модульованого сигналу. Спостерігаються піки на частотах 1.2 КГц та 2.2 КГц, що відповідають тонам AFSK модульованого сигналу

Також було проведено практичне вимірювання максимальної відстані комунікації двох вузлів. Дослідження відбувалось в умовах міської забудови. Однією з умов досліду була наявність великої кількості перешкод, таких як високі будівлі, електромагнітні поля, транспорт тощо. У документації на рації Baofeng UV-5R була заявлена відстань передачі до 5 км, однак виходячи із відгуків на штатні антени, що йдуть у комплекті до рації, в умовах міського простору досягти таких відстаней доволі проблематично. Тест проводився за принципом віддалення від стаціонарної станції (на мапі CENTER-1), яка завдяки функціоналу записувала передачу координат від користувача (на мапі USER-2) та відображала історію пересування на вбудованій мапі (рис. 12). З отриманих результатів була визначена максимальна відстань у 2.88 км. На застосованих APRS терміналах було використано програмне забезпечення APRSdroid.

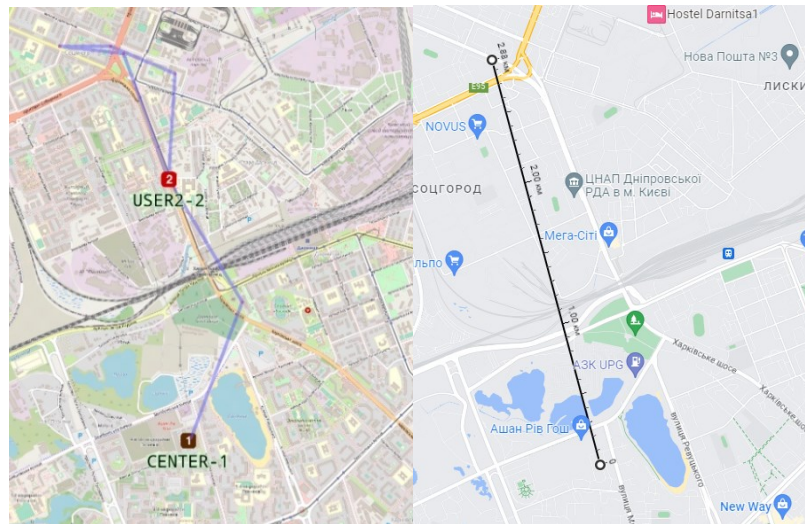


Рис. 12. Виміри максимальної відстані приймання пакету даних з координатами користувача

### Висновки

Дослідження розробленого рішення показало, що при використанні бюджетних рацій Baofeng UV-5R можливо забезпечити передачу цифрових повідомлень у радіусі порядку 3 км. Відстань залежить від ряду факторів і при встановленні станцій у найвищій точці будинку імовірно збільшення покриття. Заміна антени приймача і додавання підсилювачів також збільшує радіус зв'язку. У випадку втрати зв'язку, мережа на базі APRS технології дозволяє відновити комунікацію шляхом повторного пересилання повідомлень. Використовуючи програмне забезпечення APRSdroid можлива передача координат користувача, що може бути корисно для отримання інформації про поточне місцезнаходження вузла. Запропоноване рішення може бути корисним для контролю за віддаленими пристроями на великій відстані. Зона покриття більшою мірою залежить від характеристик використаної радіостанції і за умови застосування потужної радіостанції, підсилювачів радіо сигналу та високо розміщеної антени можлива побудова аварійного зв'язку у межах міста.

### References

1. Wade I. APRS Protocol Reference Protocol Version 1.0. Tucson, AZ: Tucson Amateur Packet Radio Corp, 2000. 128 p. (APRS Working Group).
2. Beech W., Nielsen D., Taylor J. AX.25 Link Access Protocol for Amateur Packet Radio. Tucson, AZ: Tucson Amateur Packet Radio Corp, 1998. 143 p. (Tucson Amateur Packet Radio Corporation).
3. Chepponis M., Karn P. The KISS TNC: A simple Host-to-TNC communications protocol. 1997. URL: <http://www.ax25.net/kiss.aspx>.
4. Langner J. Dire Wolf Software TNC. 2018. URL: <https://github.com/wb2osz/direwolf-presentation>.
5. ESP32 Series Datasheet/ China: Espressif Systems, 2023. 70 p. (Espressif Systems).
6. ESP32TNC. 2022. URL: <https://github.com/amedes/ESP32TNC>.
7. HC-08 BLUETOOTH UART COMMUNICATION MODULE V3.1 USER MANUAL. China: HC, 2017. 15 p.
8. HDLC/AX.25. Not Black Magic. 2023. URL: <https://notblackmagic.com/bitsnpieces/ax.25>.