

Карпов Є.Є.,

orcid.org/0009-0006-3610-7506,

e-mail: 8866173@stud.nau.edu.ua,

Вовна О.В., д.т.н.,

orcid.org/0000-0003-4433-7097,

e-mail: oleksandr.vovna@npp.nau.edu.ua

ПРОБЛЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ЛОКАЦІЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО АВТОТРАНСПОРТУ АЕРОПОРТУ

Національний авіаційний університет

Вступ

У режимі перебоїв з електроживленням, викликаними ракетними ударами Росією по енергосистемі України, та атаками на операторів зв'язку, виникла потреба для перегляду способів передачі даних із систем і датчиків, розташованих у межах аеропортів. Безпека в аеропортах України є однією з найважливіших та найбільш контрольованих сфер. Українські аеропорти додержуються стандартів, встановлених Міжнародною організацією цивільної авіації (ICAO), та таких документів, як [1-3].

Визначено, що на транспортних засобах повинна бути система контролю швидкості та місцезнаходження ([3], п.4.5.6 (д) та п.5.4.2).

У дослідженні проаналізовано закупки аеропорту Бориспіль з відкритих джерел [4-7]. Було виявлено, що протягом останніх декількох років аеропорт проводив тендери на такі системи:

- система від ТОВ «БЕНІШ ДЖІ ПІ ЕС Україна» на 2018-2020 рр. [4-6];
- система від компанії «ТрекАвто» на 2021р. [7].

Для передачі даних з датчиків всі ці системи використовують мережі операторів стільникового зв'язку *GPRS* (мережі сторонніх компаній, які не контролюються службами аеропорту).

У статті *BBC* [8] зазначено, що 12 грудня 2023 року сталася атака на мережу Київстар. Всі сервіси оператора стільникового зв'язку "Київстар" стали недоступними. Водночас у "Водафон" зазначили, що у них із мобільними послугами

все гаразд, але через велике навантаження на канали у деякого з клієнтів були проблеми. Системи моніторингу геолокації та інших показників спецтранспорту аеропорту від вищезазначених систем в таких критичних випадках не зможуть працювати, тому, що використовують мережу операторів стільникового зв'язку. Щоб виключити такі випадки треба змінити архітектуру системи передачі, збору та обробки інформації. Для передачі даних з датчиків до бази даних системи моніторингу необхідно покрити територію аеропорту [9] радіомережою, як зображено на рис. 1. Діаметр кругів покриття залежить від параметрів радіомодулів, потужності антен та інших факторів, які впливають на поширення радіосигналу.

Мета

Метою цього дослідження є підвищення відмовостійкості та безпеки передачі даних, а також закладання можливості зниження впливу погодних умов на точність даних геолокації.

Для цього в роботі було зроблено: вибір протоколу передачі даних; розрахунок параметрів радіомережі; визначення даних, які треба передавати з датчиків до бази даних; підбір радіомодулів для забезпечення покриття радіомережею території аеропорту; створення архітектури комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу технічних характеристик і локації спеціалізованого автотранспорту аеропорту з ціллю переходу від використання мереж сторонніх компаній на незалежну внутрішню мережу, на основі якої буде розроблено макетний зразок для подальшого проведення дослідження.

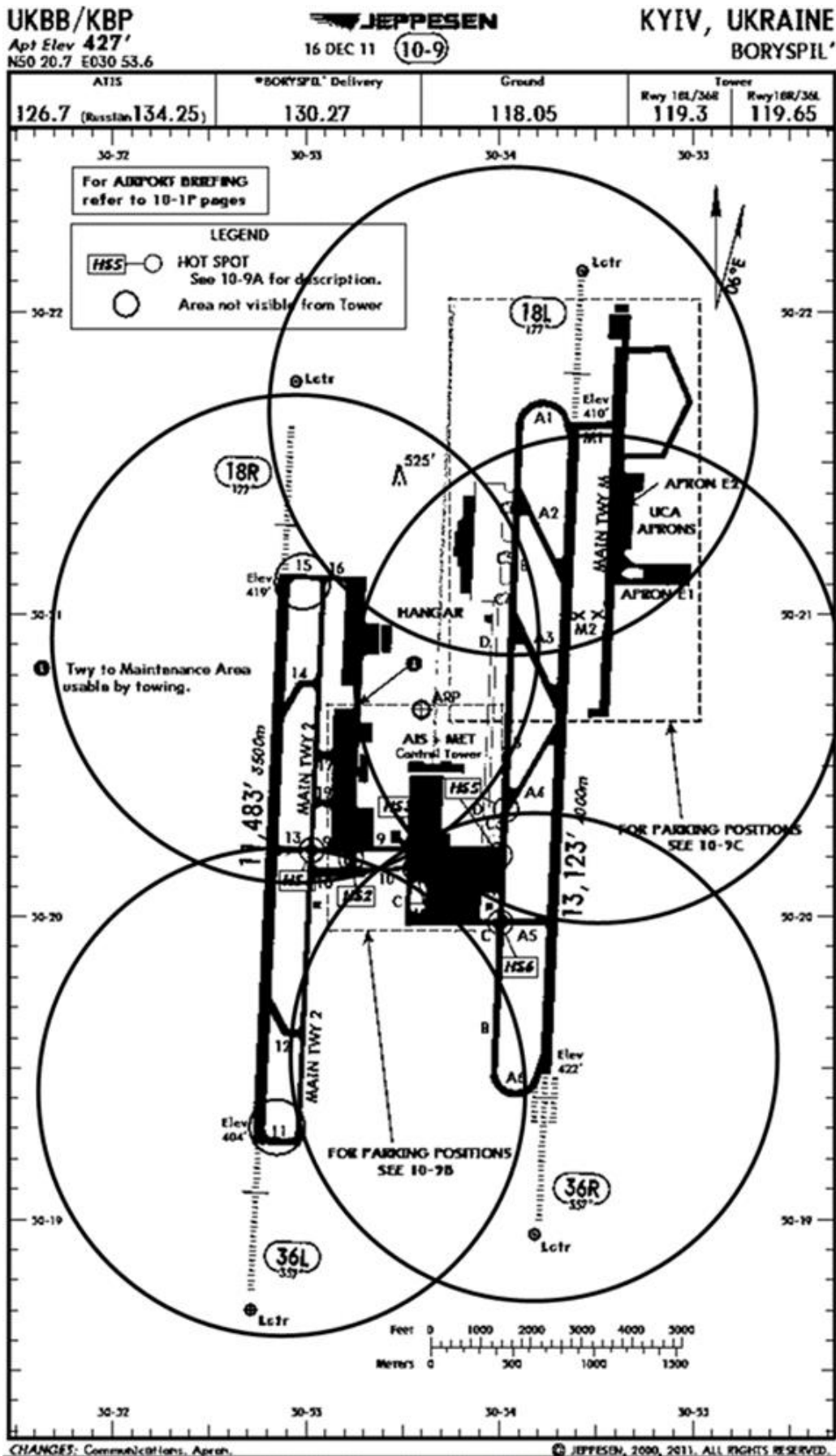


Рис. 1. Кругові зони покриття території аеропорту радіомережею

Основна частина

Аналізуючи літературу [10-12], було знайдено ряд статей, в яких описані протоколи передачі даних для *IoT*, їх відмінність, позитивні та негативні сторони.

Виходячи з умов експлуатації системи більш підходящі протоколи передачі даних є *Sigfox* та *LoRaWAN*.

Як зазначено в дослідженні [13], найбільш якісним та ефективним протоколом для передачі геоданих виявився протокол *LoRaWAN*.

Виходячи з цього, за основний протокол передачі даних приймається *LoRaWAN*. Це мережевий протокол малої потужності, призначений для бездротового підключення датчиків до мереж і орієнтований на основні вимоги, такі як велика зона покриття, висока проникаюча спроможність, низька вартість, двонаправлений зв'язок, безпека (наявність *AES 128*), низькі затримки, низьке енергоспоживання та ще *LoRa* використовує пряму

корекція помилок (*forward error correction, FEC*) [14].

Для подальших розрахунків треба визначити діапазон частот, на якому будуть передаватися дані. Існує декілька діапазонів частот, під які розроблено радіомодулі від компанії *Semtech*, а саме: 433 МГц, 868 МГц, 915 МГц, 2.4 ГГц.

Вибір радіомодуля для комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу залежить від законодавчих документів та технічних характеристик, які було проаналізовано.

Згідно [15], а саме розділу 4, п.1 та п.2 в Україні можна використовувати тільки два неліцензованих діапазони частот для передачі даних (*LoRaWAN*) з обмеженнями (табл. 1).

Виходячи з табл. 1 існує лише два діапазони частот, в яких дозволено передача даних, а саме 868,0-868,6 МГц та 2400-2483,5 МГц.

Таблиця 1. Радіоелектронні засоби для систем автоматизованого управління, контролю та обліку енергоресурсів і контролю технологічних процесів

1	Радіообладнання системи автоматизованого управління, контролю та обліку енергоресурсів і контролю технологічних процесів (діапазон 868 МГц, радіо-інтерфейси передачі даних <i>ZigBee</i> , <i>LoRaWAN</i> , їх модифікації та інші). Телеметрія та радіо-дистанційне керування / <i>ETSI EN 300 220</i>	868,0 - 868,6 МГц	25 мВт	Ненаправлена інтегрована/ конструктивна антена з коефіцієнтом підсилення антени до 9 дБі. ЕВВП 25 мВт. Робочий цикл на випромінювання менше 1%. Робочий цикл на випромінювання може бути більше 1 % за умови використання методу зниження завадового впливу <i>LBT</i> (режим прослуховування перед включенням передавача) та широкопasmової модуляції з розширенням спектра методом стрибкоподібної зміни частоти
2	Радіообладнання системи автоматизованого управління, контролю та обліку енергоресурсів і контролю технологічних процесів (діапазон 2,4 ГГц радіо-інтерфейси передачі даних <i>ZigBee</i> , <i>LoRaWAN</i> , їх модифікації та інші). Широкопasmовий радіодоступ / <i>ETSI EN 300 328</i>	2400 - 2483,5 МГц	50 мВт	Ненаправлена інтегрована/ конструктивна антена з коефіцієнтом підсилення до 6 дБі. Максимальна середня спектральна щільність ЕВВП 10 мВт у будь-якій смузі шириною 1 МГц – для режиму роботи з <i>DSSS</i> . Робочий цикл на випромінювання не більше 50 %
			100 мВт	Ненаправлена інтегрована/ конструктивна антена з коефіцієнтом підсилення до 6 дБі. Для режиму роботи з <i>FHSS</i> . Робочий цикл на випромінювання 100 %

Матеріали та методи

Для вибору діапазону частот, на якій буде максимально ефективно працювати радіомережа *LoRaWAN* в межах відкритого простору аеропорту, необхідно зробити розрахунки та випробування, визначити такі параметри, як розмір пакету даних, час передачі пакету даних і максимальну дистанцію передачі даних (максимальну відстань від приймача до передавача). Параметри радіомодулів для розрахунків взято з *Datasheet* на офіційному сайті виробника *Semtech*:

- для радіомодуля *SX1272* з частотою 860-1020 МГц [16];
- для радіомодуля *SX1280* з частотою 2400-2500 МГц [17].

Розрахунок розміру пакету даних

Пакет даних повинен включати параметри, що передаються з датчиків до бази даних для подальшої її обробки. Ці параметри, тип та розмір вказані в табл. 2.

Але, з перспективою використання мережі *LoRaWAN* іншими системи розмір пакета даних буде зростати.

З урахуванням законодавчих обмежень та даних з документації по модулях для розрахунків взято показники, вказані в табл. 3.

Компанія *Semtech* не надає методів розрахунку параметрів для своїх радіомодулів. Але на основі своїх напрацювань та тестів, компанія *Semtech* розробила та надала калькулятор для спрощення розрахунків параметрів, які можна побачити на рис. 2. Ці параметри необхідні для подальших розрахунків.

Таблиця 2. Пакет даних

Назва параметрів	Тип даних	Розмір, байт
Номер пристрою (<i>ID node</i>)	<i>integer</i>	4
Координати локації (довгота)	<i>float</i>	4
Координати локації (широта)	<i>float</i>	4
Швидкість	<i>float</i>	4
Погіршення точності <i>GPS</i>	<i>float</i>	4
Дата	<i>long</i>	4
Компас	<i>float</i>	4
Стан двигуна (увімкнений/вимкнений)	<i>byte</i>	1
Зовнішня температура	<i>integer</i>	4
Атмосферний тиск	<i>integer</i>	4
Вологість	<i>integer</i>	4
Напруга акумулятору	<i>float</i>	4
Всього (<i>Payload Length</i>), байт		45

Таблиця 3. Параметри радіомодулів, які вибрано для розрахунків

Параметри радіомодулів	Частота, МГц	
	868 (<i>SX1272</i>)	2400 (<i>SX1280</i>)
<i>Bandwidth</i> , кГц	500	1625, 812
Швидкість кодування (<i>Code Rate</i>)	4/5	4/5
<i>Preamble Length</i> , символ	8	8
<i>Payload Length</i> , байт	45	45
<i>Transmit power</i> , dBm	14 (25 мВт)	20 (100 мВт)
<i>Gate Antenna gain</i> , dB	9	6
<i>Node Antenna gain</i> , dB	9	6

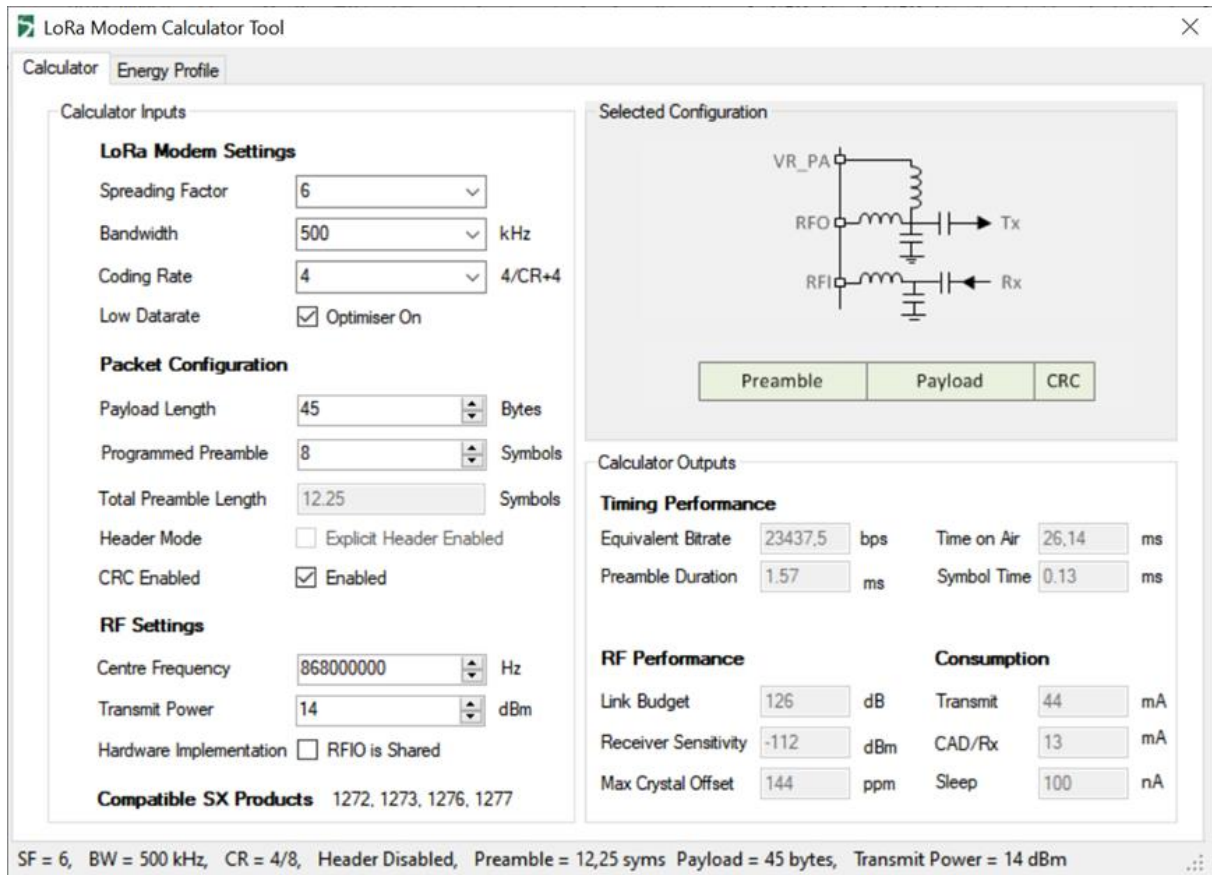


Рис. 2. Калькулятор від виробника *Semtech* для радіомодулів *SX1272*, *SX1273*, *SX1276* та *SX1277*

Серед параметрів, які використовує калькулятор є «*Spreading Factor*» (*SF*) – це коефіцієнт розширення спектру. Чим більше цей коефіцієнт, тим довше передається пакет даних, але дистанція передачі також зростає. Для радіомодуля *SX1272* *SF* може бути від 6 до 12. Розрахунки часу передачі пакету даних (*Time Of Air*),

енергетичного потенціалу лінії зв'язку (*Link Budget*) та чутливості приймача в залежать від параметру *SF*. Розрахунки цих параметрів з калькулятора наведено в табл. 4. Вони потрібні для подальшого розрахунку максимальної відстані від приймача до передавача.

Таблиця 4. Розрахунок параметрів радіомодуля *SX1272*

Частота, MHz	<i>SF</i>	Bandwidth (BW), кГц	Coding Rate	Payload Length, байт	Preamble, СИМВОЛ	Time Of Air, мс	Link Budget, dBm	Receiver Sensitivity, dB
868	6	500	4/5	45	8	26,14	126	-112
868	7	500	4/5	45	8	42,05	131	-117
868	8	500	4/5	45	8	71,81	134	-120
868	9	500	4/5	45	8	127,23	137	-123

Розрахунок максимальної відстані від приймача до передавача

Для розрахунку максимальної дальності прийому в бездротових системах використовується формула (1), яка враховує

втрати сигналу у вільному просторі (*FSPL*, *Free Space Path Loss*).

$$d = 10^{\frac{(FSPL - 20 \log_{10}(f) - 27.55)}{20}} \quad (1)$$

де, d – максимальна відстань, на якій приймач може успішно отримувати сигнали від передавача, м; f – частота сигналу.

Втрата сигналу у вільному просторі визначає втрати, які виникають при поширенні радіохвиль у вільному просторі без перешкод. Втрати сигналу у вільному просторі можуть бути виражена як різниця між потужністю передавача та максимальною чутливістю приймача:

$$FSPL = P_{tx} - P_{rx\ max} \quad (2)$$

де, P_{tx} – потужність передавача; $P_{rx\ max}$ (*Receiver Sensitivity*) – максимальна чутливість приймача.

$$FSPL = (P_{tx} + txAntGain + rxAntGain) - (P_{rx\ max} + LM) \quad (3)$$

де, $txAntGain$ та $rxAntGain$ – коефіцієнти підсилення антен передавача та приймача відповідно.

Також на $FSPL$ має вплив такий показник, як *Link Margin (LM)* – це різниця між мінімальною очікуваною потужністю, яка отримується приймачем, і мінімально необхідним рівнем сигналу для забезпечення надійної роботи системи. Ця величина є запасом потужності, який може бути використано для компенсації втрат зв'язку або інших факторів, таких як шум.

З урахуванням параметрів підсилення антен передавача і приймача, а також параметра *Link Margin* розраховано враховує втрати сигналу у вільному просторі ($FSPL$):

Розраховані параметри $FSPL$ та відстані між передавачем та приймачем зведено в табл. 5.

Таблиця 5. Розрахунок максимальної відстані між передавачем та приймачем на базі радіомодуля SX1272

Частота, МГц	SF	BW, кГц	Time of Air, мс	RS, dBm	P_{tx} , dBm	txAnt Gain, dBi	rxAnt Gain, dBi	Link Margin, dB	FSPL, dB	Відстань, км
868	6	500	26,14	-112	14	9	9	12	132	4,59
868	7	500	42,05	-117	14	9	9	12	137	8,16
868	8	500	71,81	-120	14	9	9	12	140	11,52
868	9	500	127,23	-123	14	9	9	12	143	16,27

Виходячи з отриманих даних, з урахуванням дистанції між приймачем та передавачем не більше ніж 1 км, найкращий час передачі пакету даних є 26,14 мс при мінімальному $SF = 6$. Це є максимальна швидкість передачі даних для цієї частоти на радіомодулях SX1272. Але треба врахувати, що при таких параметрах антени (на 868 МГц з коефіцієнтом підсилення 9 dBi) її габарити будуть достатньо великі для мобільного розміщення на спецтранспорті аеропорту, що негативно впливає на вибір цих модулів.

Розрахунки радіомодуля SX1280 для частоти 2400 МГц

За допомогою калькулятора від виробника радіомодулів SX1280 Semtech розраховано параметри для модулів SX1280 при SF 6-10 та Bandwidth 1625 та 812 кГц.

Параметри, які можна розрахувати цим калькулятором можна побачити на рис. 3.

Враховуючи те, що базовий радіомодуль від Semtech має максимальний *Transmit power* 12,5 dBm, а для розрахунків потрібно 20 dBm, було вибрано радіомодуль від компанії Ebyte E28-2G4M20S [18], який використовує чіп SX1280.

В цьому калькуляторі є обмеження параметру *Transmit Power (max. 12,5)*. Для розрахунків з *Transmit Power = 20 dBm* необхідно додавати до *Link Budget* 7,5 dBm.

З урахуванням поправки дані розрахунків *Time Of Air, Link Budget ma Receiver Sensitivity* наведено в табл. 6.

Отримані дані необхідні для подальшого розрахунку дистанції від передавача до приймача. Розраховано $FSPL$ та максимальну дистанцію між приймачем та передавачем (1) та (3). Дані наведено в табл. 5.

Аналізуючи отримані дані, а також беручи до уваги дистанцію між приймачем та передавачем від 500 м до 1 км, найкращий час передачі пакету даних є 8,0591 мс при $SF = 6$ та $Bandwidth = 812$ кГц.

Вибір радіомодуля

Для системи моніторингу насамперед дуже важно такі параметри, як час передачі даних, відстань від приймача до передавача (радіус покриття, який для території аеропорту повинен бути від 500м до 1000м) та розмір антени передавача.

Для модулів маємо такі дані:

- SX1272:

- час передачі пакету даних 26,14 мс;
- робочий цикл на випромінювання 1%;
- відстань від приймача до передавача 4590 м;
- довжина антени 55 см;
- SX1280 (Ebyte E28-2G4M20S):
- час передачі пакету даних 8,0591 мс;
- робочий цикл на випромінювання 100 %;
- відстань від приймача до передавача 740 м;
- довжина антени 19.2 см.

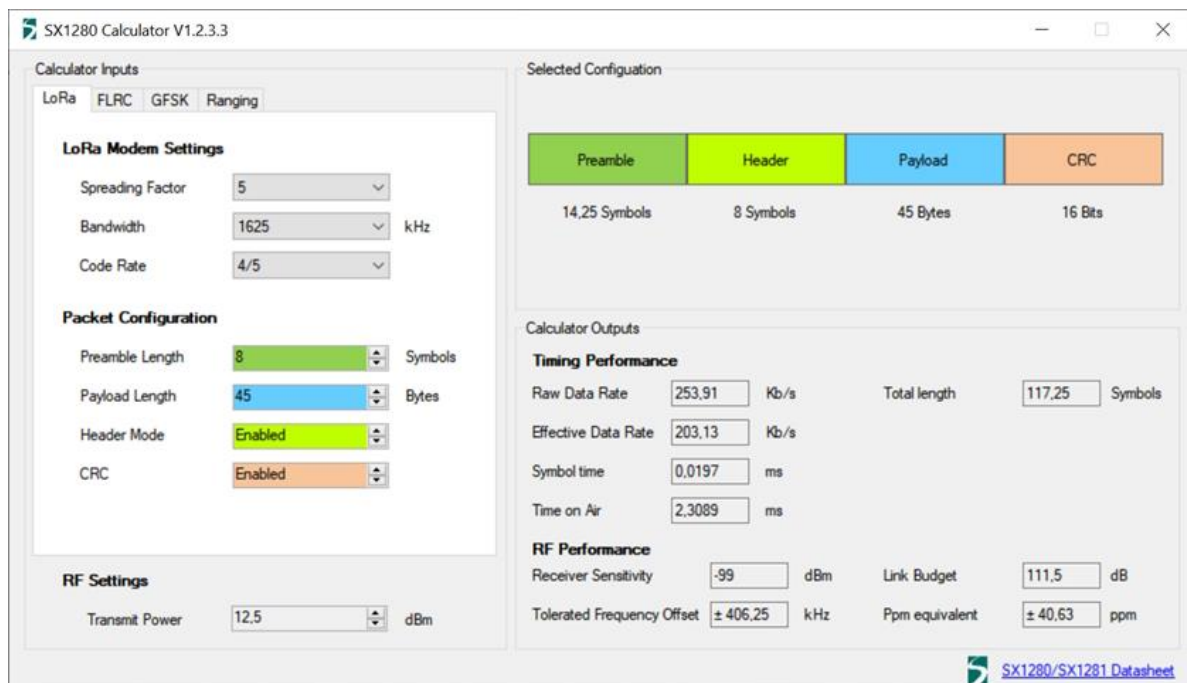


Рис. 3. Калькулятор від виробника Semtech для радіомодулів SX1280

Таблиця 6. Розрахунок параметрів радіомодуля SX1280

Частота, MHz	SF	Bandwidth (BW), kHz	Code Rate	Payload Length, Bytes	Preamble, Symbols	Time Of Air, ms	Link Budget, dBm	Receiver Sensitivity, dB
2400	6	1625	4/5	45	8	4,0271	123	-103
2400	7	1625	4/5	45	8	7,1089	126	-106
2400	8	1625	4/5	45	8	12,6425	129	-109
2400	9	1625	4/5	45	8	23,7095	131	-111
2400	10	1625	4/5	45	8	44,2683	134	-114
2400	6	812	4/5	45	8	8,0591	128	-108
2400	7	812	4/5	45	8	14,2266	132	-112
2400	8	812	4/5	45	8	25,3005	135	-115
2400	9	812	4/5	45	8	47,4483	137	-117
2400	10	812	4/5	45	8	88,5911	140	-120

Таблиця 7. Розрахунок максимальної відстані між передавачем та приймачем на базі радіомодуля SX1280

Частота, MHz	SF	BW, kHz	Time of Air, ms	RS, dBm	P _{tx} , dBm	txAnt Gain, dBi	rxAnt Gain, dBi	Link Margin, dB	FSPL, dB	Відстань, km
2400	6	1625	4,0271	-103	20	6	6	15	120	0,42
2400	7	1625	7,1089	-106	20	6	6	15	123	0,59
2400	8	1625	12,6425	-109	20	6	6	15	126	0,83
2400	9	1625	23,7095	-111	20	6	6	15	128	1,05
2400	10	1625	44,2683	-114	20	6	6	15	131	1,48
2400	6	812	8,0591	-108	20	6	6	15	125	0,74
2400	7	812	14,2266	-112	20	6	6	15	129	1,17
2400	8	812	25,3005	-115	20	6	6	15	132	1,66
2400	9	812	47,4483	-117	20	6	6	15	134	2,09
2400	10	812	88,5911	-120	20	6	6	15	137	2,95

Враховуючи розраховані в роботі параметри, перспективи розвитку підсистеми передачі даних, додаткові можливості визначення місцезнаходження спецавтотранспорту за допомогою радіомодулів, а також з метою: зменшення впливу інших небажаних джерел випромінювання на однакові частоті; зменшення ризику перехоплення та розшифрування даних, що передаються радіомережею, вибрано радіомодуль SX1280.

Вплив перешкод (втрат сигналу) на підсистему передачі даних

Розрахунки, які по формулам для відкритого простору зроблені вище, не враховують деякі перешкоди, які виявляються експериментально.

Методи, які можуть використовуватися для розрахунків втрат сигналу в бездротових комунікаційних системах:

- формула для розрахунку втрат сигналу в зоні міського середовища (*Okumura Model*):

$$L_{Okumura} = A + B \log_{10}(d);$$

- формула для розрахунку втрат сигналу в міському та субурбанному середовищі (*COST 231 Model*):

$$L_{COST231} = A + B \log_{10}(d) + C \log_{10}(f);$$

- формула для розрахунку втрат сигналу в міському середовищі (*Walfisch-Bertoni Model*):

$$L_{Walfisch-Bertoni} = A + B \log_{10}(d) + C \log_{10}(h_b);$$

- формула для розрахунку втрат сигналу в приміщеннях (метод *Lee Model*):

$$L_{Lee} = A + B \log_{10}(d).$$

У цих формулах: L – втрати сигналу; d – відстань між передавачем і приймачем; f – частота сигналу; h_b – висота антени передавача; A , B і C – коефіцієнти, які залежать від типу місцевості і інших факторів.

Ці коефіцієнти визначаються на основі аналізу експериментальних даних або результатів моделювання для конкретних місцевостей і типів мереж. Тому їх точні значення можуть варіюватися в залежності від умов конкретного дослідження аеропростору.

Принципова блочна схема макетного зразку системи моніторингу

Система моніторингу складається з таких підсистем (рис. 4):

- підсистема зняття показників;
- підсистема радіозв'язку;
- підсистема передачі даних до серверу бази даних;
- підсистема збору даних;
- підсистема обробки даних;
- підсистема відображення даних.

Розраховані в роботі параметри радіомодулів та вибір моделі радіомодулів у

подальшому допоможуть розробити підсистему радіозв'язку та налаштувати макетного зразка системи моніторингу. Удосконалення цієї підсистеми впливає також на перероблення ще двох підсистем, а саме

підсистему зняття показників та підсистему передачі даних до серверу бази даних. Виходячи з цього, всі підсистеми цієї системи моніторингу потребують переробці та дослідженню емпіричним методом.



Рис. 4. Схема макетного зразка системи моніторингу

Висновки

Для коректної та стабільної роботи системи моніторингу, необхідно використовувати радіомодулі *Ebyte E28-2G4M20S* з частотою 2400 МГц. та потужністю 100 мВт. *Ebyte E28-2G4M20S* – це модуль передачі даних на основі технології *LoRa*, який підтримує бездротову комунікацію на великих відстанях та зроблений на базі чіпу *SX1280*.

Завдяки тому, що сигнали від передавачів приймаються на кілька шлюзів одночасно, досягається відмовостійкість передачі даних. Це можливо завдяки технології *LoRaWAN*.

Також, завдяки виключенню каналів передачі даних операторів мобільного зв'язку з системи моніторингу та дублюванню прийому даних на декілька шлюзів одночасно забезпечено надійну доставку даних з датчиків до серверів баз даних.

Однією з важливих функцій радіомодуля *Ebyte E28-2G4M20S* є підтримка шифрування даних, що забезпечує високий рівень безпеки переданих даних.

Типи шифрування, що підтримуються модулем *Ebyte E28-2G4M20S*:

- AES (Advanced Encryption Standard). Один з найпоширеніших і

найнадійніших алгоритмів симетричного шифрування.

- Інші алгоритми. Модуль може підтримувати й інші алгоритми шифрування залежно від конкретної прошивки та налаштувань.

Переваги шифрування в *Ebyte E28-2G4M20S*:

- Конфіденційність даних. Повідомлення стають недоступними для неавторизованих користувачів.

- Цілісність даних. Захищає дані від зміни під час передачі.

- Легкість інтеграції. Шифрування легко впроваджується в підсистемі радіозв'язку.

В чіпах *SX1280* є можливість вимірювати відстань від приймача до передавача [19], що додатково дає можливість визначати місцезнаходження спеціалізованого автотранспорту аеропорту для підвищення точності у випадках, коли *GPS*-датчики не можуть визначити координати з високою точністю, або зовсім не можуть визначити. Але у цьому випадку радіопокриття аеропорту повинно бути щонайменше трикратним (рис. 5), тобто, кожна можлива позиція спецтехніки повинна перекриватися зонами трьох, або більше, приймачів.

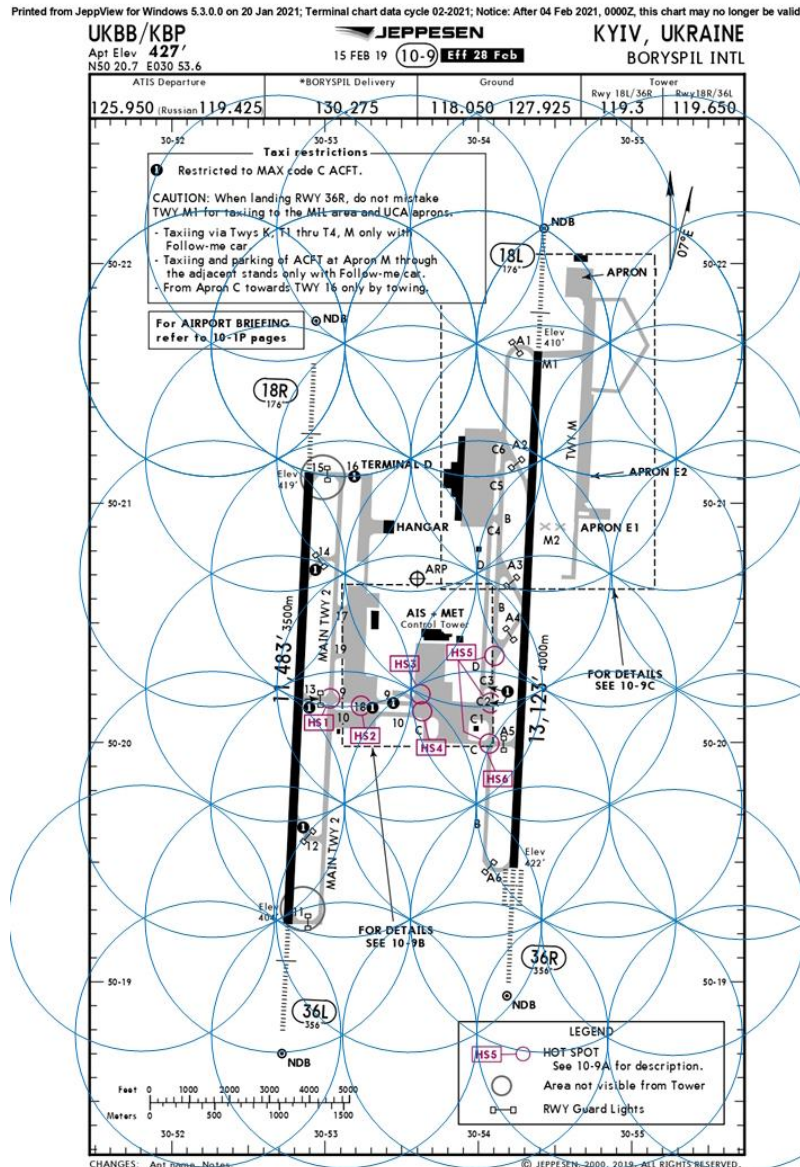


Рис. 5. Трикратне покриття території аеропорту радіомережею

Таким чином, досліджена система зможе:

- підвищити відмовостійкості передачі даних;
- забезпечити безпеку передачі даних;
- надає можливості зниження впливу погодних умов на точність даних геолокації.

Це впливає на:

- Підвищення безпеки руху на території аеропорту;
- забезпечення швидкого реагування на критичні випадки;

- забезпечення стабільної роботи системи моніторингу, яка не залежить від сторонніх компаній;

- можливість планувати та оптимізувати обслуговування.

Література

1. Верховна Рада України. Про затвердження Авіаційних правил України «Інструкція з організації та здійснення контролю на безпеку в аеропортах України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0594-19> (дата звернення: 03.05.2024).

2. Верховна Рада України : Повітряний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17> (дата звернення: 03.05.2024).

3. Державне підприємство «Міжнародний аеропорт «Бориспіль». Правила руху транспортних засобів на аеродромі «Київ» (Бориспіль) (ПРТЗА). URL: https://kbp.aero/wp-content/uploads/2020/11/ПРТЗА_Ел.примірник.pdf (дата звернення: 03.05.2024).

4. Закупівля – Послуги з моніторингу експлуатації транспортних засобів – UA-2017-12-30-000025-b – Zakupivli.pro. URL: <https://zakupivli.pro/gov/tenders/UA-2017-12-30-000025-b> (дата звернення: 03.05.2024).

5. Закупівля – Послуги з моніторингу експлуатації транспортних засобів – UA-2019-01-31-004254-b – Zakupivli.pro. URL: <https://zakupivli.pro/gov/tenders/UA-2019-01-31-004254-b> (дата звернення: 03.05.2024).

6. Закупівля – Послуги з моніторингу експлуатації транспортних засобів – UA-2020-01-15-000583-b – Zakupivli.pro. URL: <https://zakupivli.pro/gov/tenders/UA-2020-01-15-000583-b> (дата звернення: 03.05.2024).

7. Закупівля – Послуги з моніторингу експлуатації транспортних засобів – UA-2020-11-18-000739-b – Zakupivli.pro. URL: <https://zakupivli.pro/gov/tenders/UA-2020-11-18-000739-b> (дата звернення: 03.05.2024).

8. Атака на Київстар. Які небезпеки вона несе, окрім відсутності зв'язку. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/cglp7kz0rjmo> (дата звернення: 03.05.2024).

9. JEPPESEN SANDERSON, INC. Trip Kit. URL: <https://vacc-ua.org/static/files/charts/UKBB.pdf> (дата звернення: 03.05.2024).

10. Онищенко К. Г., Афанасьєва И. В. Стек протоколов передачи данных для iot. Анализ и выбор протокола для внедрения в систему комплексного управления умными вещами. URL: <https://naukam.triada.in.ua/index.php/konferentsiji/45-p-yatnadtsyata-vseukrajinska-praktichno-piznavalna-internet-konferentsiya/264-stek-protokolov-peredachi-dannykh-dlya-iot-analiz-i-vybor->

[protokola-dlya-vnedreniya-v-sistemu-kompleksnogo-upravleniya-umnymi-veshchami](https://naukam.triada.in.ua/index.php/konferentsiji/45-p-yatnadtsyata-vseukrajinska-praktichno-piznavalna-internet-konferentsiya/264-stek-protokolov-peredachi-dannykh-dlya-iot-analiz-i-vybor-protokola-dlya-vnedreniya-v-sistemu-kompleksnogo-upravleniya-umnymi-veshchami) (дата звернення: 03.05.2024).

11. Lalle Y. et al. A Comparative Study of LoRaWAN, SigFox, and NB-IoT for Smart Water Grid. URL: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/31194/1/yandja2019.pdf> (дата звернення: 03.05.2024).

12. Lalle Y. et al. A Comparative Study of LoRaWAN, SigFox, and NB-IoT for Smart Water Grid. 2019 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS), Paris, France, 18–20 December 2019 / IEEE. 2019. P. 1-6

13. Aernouts M. et al. Sigfox and LoRaWAN datasets for fingerprint localization in large urban and rural areas. *Data*. 2018. Vol. 3, no. 2. P. 13-13.

14. Великий О. А. Технології та протоколи передачі даних на довгій відстані в IoT мережах. URL: <https://e-tk.lntu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=10667> (дата звернення: 03.05.2024).

15. Рішення від 23.12.2014 № 844 «Про затвердження Переліку радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв, на експлуатацію яких потрібен дозвіл на експлуатацію радіоелектронного засобу або випромінювального пристрою». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0201-15> (дата звернення: 03.05.2024).

16. SX1272 Datasheet. URL: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-connect/sx1272> (дата звернення: 03.05.2024).

17. SX1280 Datasheet. URL: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-connect/sx1280> (дата звернення: 03.05.2024).

18. E28-2G4M20S. URL: <https://www.ebyte.com/en/product-view-news.aspx?id=401> (дата звернення: 03.05.2024).

19. Theory and Principle of Operation: Advanced Ranging. URL: https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/TheoryAndPrinciples_AdvancedRanging_SX1280_v7.pdf (дата звернення: 03.05.2024).

Карпов Є.Є., Вовна О.В.

ПРОБЛЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ЛОКАЦІЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО АВТОТРАНСПОРТУ АЕРОПОРТУ

В дослідженні проаналізовано закупки аеропорту Бориспіль з відкритих джерел, а також нормативні та законодавчі документи щодо передачі даних через радіомережу. Було виявлено, що протягом останніх декількох років аеропорт проводить тендери на системи, які використовують мережі операторів стільникового зв'язку GPRS (мережі сторонніх компаній, які не контролюються службами аеропорту). Це дослідження має на меті: розрахунок параметрів радіомережі; визначення даних, які треба передавати з датчиків до бази даних; підбір радіомодулів для забезпечення покриття радіомережею території аеропорту; створення архітектури комп'ютерно-інтегрованої системи моніторингу технічних характеристик і локації спеціалізовано-го автотранспорту аеропорту з ціллю переходу від використання мереж сторонніх компаній на незалежну внутрішню мережу. В роботі розраховані параметри радіомережі аеропорту, проаналізовано: перспективи розвитку підсистеми передачі даних; додаткові можливості визначення місцезнаходження спецавтотранспорту за допомогою радіомодулів та GPS. Розглянуто: зменшення впливу інших небажаних джерел випромінювання на частоті роботи радіомодуля; зменшення ризику перехоплення та розшифрування даних, що передаються радіомережею; проведено вибір радіомодуля на базі SX1280, на основі якого запропоновано розроблення макетного зразок для подальшого проведення дослідження.

Ключові слова: система; моніторинг; координати; радіомережа; частота; LoRaWAN; аеропорт.

Karpov Y.Y., Vovna O.V.

CHALLENGES OF DATA COLLECTION FOR MONITORING TECHNICAL CHARACTERISTICS AND LOCATION OF SPECIALIZED AIRPORT VEHICLES

The study analyzed the procurement of Boryspil Airport from open sources, as well as regulatory and legislative documents regarding data transmission via radio modems. It was found that over the past few years, the airport has been tendering for systems using GPRS cellular network operator networks (networks of third-party companies not controlled by airport services). The aim of this study is to calculate the parameters of the radio network, determine the data to be transmitted from sensors to the database, select radio modules to provide coverage of the airport's radio network area, create an architecture of a computer-integrated monitoring system for technical characteristics and location of specialized airport vehicles with the goal of transitioning from using networks of third-party companies to an independent internal network. The study calculated the parameters of the airport's radio network, analyzed the prospects for the development of the data transmission subsystem, additional possibilities for determining the location of special vehicles using radio modules and GPS. It considered reducing the impact of other unwanted sources of interference on the radio module's operating frequency, reducing the risk of data interception and decryption transmitted by the radio network, and choosing a radio module based on SX1280 for the development of a prototype for further research.

Keywords: system; monitoring; coordinates; radio network; frequency; LoRaWAN; airport.