

Єзерський Нікіта Валерійович

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

ORCID: 0000-0002-7482-0832

Сокольський Сергій Олегович

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

ORCID: 0000-0002-2409-1539

Середін Андрій Павлович

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

ORCID: 0000-0002-4919-4614

Зінгер Яна Леонідівна

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

ORCID: 0000-0002-4245-7311

МЕТОД РОЗРАХУНКУ НАПРУЖЕНОСТІ ПОЛЯ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Анотація. Системи мобільного зв'язку та бездротового доступу відіграють важливу роль у сучасному суспільстві, а з упровадженням мереж 5G очікуються істотні технологічні зміни. В освітньому процесі студенти повинні ознайомитися з принципами побудови таких систем, включаючи мережі 5G. Однак, виконання лабораторних та практичних занять з питань радіо планування та тестування мобільних систем часто ускладнені відсутністю доступу до професійних інструментів виробників, тому студентам доводиться працювати зі застарілим або не професійним обладнанням, тоді як спеціалізовані науково-виробничі компанії використовують професійні апаратні та програмні засоби власної розробки чи виробництва провідних компаній світу. Тому у статті запропоновано спрощений метод аналізу покриття мобільної мережі, що не залежить від оператора, частотного діапазону чи технології. Метод базується на фіксації рівнів сигналу та GPS-координат за допомогою загальнодоступного мобільного застосунку й подальшій обробці даних у MATLAB. Наведено алгоритм прив'язки напруженості поля до координат на моделі сферичної Землі, реалізовано розрахунок пройденої відстані та побудову залежності прийнятої потужності від шляху (імітація drive-test). Показано достатню дискретність вимірювань для навчальних цілей і визначено переваги та обмеження підходу. Окреслено можливість розширення методики на SDR-приймач із GPS для формування карт покриття.

Ключові слова: мобільний зв'язок, геоінформаційні системи, напруженість електромагнітного поля, радіомоніторинг, загасання сигналу, MATLAB.

Yezerky Nikita

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

ORCID: 0000-0002-7482-0832

Sokolskiy Serhii

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

ORCID: 0000-0002-2409-1539

Seredin Andriy

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

ORCID: 0000-0002-4919-4614

Zinher Yana

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

ORCID: 0000-0002-4245-7311

METHOD FOR CALCULATING THE STRENGTH OF A MOBILE COMMUNICATION NETWORK FIELD

Abstract. Mobile communication and wireless access systems play an important role in modern society, and with the introduction of 5G networks, significant technological changes are expected. In the educational process, students must familiarize themselves with the principles of building such systems, including 5G networks. However, laboratory and practical classes on radio planning and testing of mobile systems are often complicated by the lack of access to professional tools from manufacturers, so students have to work with outdated or non-professional equipment, while specialized scientific and manufacturing companies use professional hardware and software developed in-house or manufactured by leading global companies.

Therefore, the article proposes a simplified method for analyzing mobile network coverage that does not depend on the operator, frequency band, or technology. The method is based on recording signal levels and GPS coordinates using a publicly available mobile application and subsequent data processing in MATLAB. An algorithm for linking field strength to coordinates on a spherical Earth model is presented, and the calculation of the distance traveled and the construction of the dependence of the received power on the path (drive-test simulation) are implemented. Sufficient measurement discreteness for educational purposes is demonstrated, and the advantages and limitations of the approach are identified. The possibility of extending the methodology to an SDR receiver with GPS for coverage mapping is outlined.

Keywords: mobile communications, geographic information systems, electromagnetic field intensity, radio monitoring, signal attenuation, MATLAB.

Постановка проблеми.

Професійні апаратно-програмні комплекси для радіомоніторингу є вартісними та здебільшого недоступними для навчальних закладів (зокрема, спеціалізовані автомобільні комплекси та тестові сканери, рис.1). Тому виникає потреба розробити методику вимірювань, яка не залежить від стороннього програмного забезпечення, оператора мобільного зв'язку, частоти спектру та технології, з мінімальною вартістю та інтуїтивно зрозумілою взаємодією користувача з застосунком.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В [1, с. 46-47] було відображено досить складні оцінювання QoE та QoS мереж провайдерів мобільного зв'язку. Але для оцінки поточного стану мережі в такому разі треба мати доступ до конфіденційних телеметричних даних, якими володіє оператор мобільної мережі, зокрема це Measurement Reports та інші службові повідомлення, рис.2.

Такі дані зазвичай мають великий об'єм та складні для інтерпретації неспеціалістами. На приклад повідомлення на рис. 2 складається з 1500 рядків всеосяжної інформації про обладнання користувача стільникової мережі, в якому можна легко заплутатись. Це все унеможливорює широке використання таких вимірювань в навчальному процесі, тож авторами статті було запропоновано підхід, який базується на відкритих засобах збору та обробки даних з користувацького обладнання.

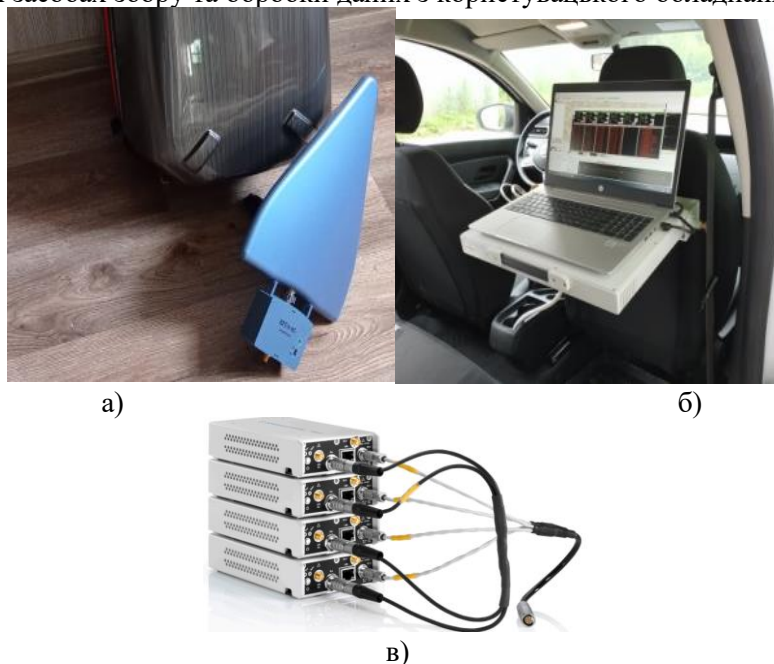


Рис. 1. Професійне обладнання: а) логоперіодична активна антена [2], б) устаткування автомобілю радіомоніторингу PM-1300-P4 [2], в) скануючий приймач TSME6b [3]

```

EQ2
UE Capability Information (UL-DCCH)

Time : 16:47:27.355
Vendor Header
Length : 328
Log Code (Hex) : 0xB0C0
HW Timestamp : (53247773.06 ms) 14:47:27.773
RRC Signaling Header
Log Packet Version : 20
RRC Release Number : 14.3.0
Radio Bearer ID : 1
Physical Cell ID : 164
E-ARFCN : 1700
Message Type : DcchUplink
rrc-TransactionIdentifier : 2
criticalExtensions : c1
c1 : ueCapabilityInformation-r8
ueCapabilityInformation-r8
ue-CapabilityRAT-ContainerList
UE-CapabilityRAT-ContainerList :
[0] :
RAT Type : eutra
UE EUTRA Capability
extensionBit0 : 0
accessStratumRelease : rel12
ue-Category : 4
pdcp-Parameters

```

Рис. 2. UE Capability Information message видобуте за допомогою спеціальних тестових телефонів та професійного застосунку Tera Investigation

Мета і задачі дослідження.

Метою дослідження є розробка алгоритму відображення напруженості поля мережі мобільного зв'язку в залежності від пройденого шляху, тобто відтворення процедури під назвою drive-test, яку проводять оператори стільникового зв'язку та контролюючі органи для моніторингу бездротових мереж як перед розгортанням, так і під час їхнього обслуговування.

Щоб досягнути обрану мету було вирішено розділити її досягнення на наступні задачі:

1. Проаналізувати загальнодоступні варіанти фіксації напруженості поля.
2. Розробити алгоритм прив'язки напруженості поля до географічних координат на сферичній моделі Землі.
3. Запропонувати варіанти розширення застосування розробленого алгоритму.

Результати дослідження.

Для збору даних використано застосунок *Network cell info Lite* (рис. 3), який широко доступний на смартфонах під управлінням операційної системи Android.

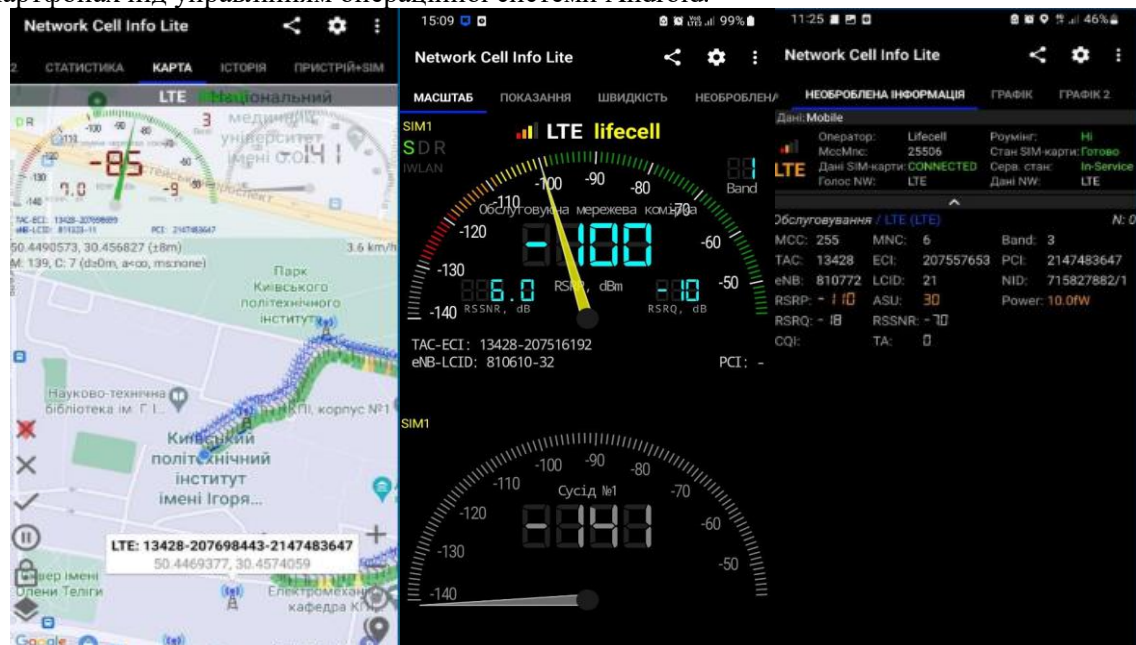


Рис.3. Знімки з екрану інтерфейсу програми Network cell info Lite [5, с. 134-135]

Застосунок дає змогу фіксувати фізичні параметри (RSRP, RSSI, RSRQ, SINR/CINR), ідентифікатори мережі (PCI, ECI/CI, TAC, MNC, MCC, EARFCN) та координати GPS мобільного пристрою [4]. Отримані дані (логи) зберігаються у базу даних (рис. 4) та експортуються у форматі CSV для подальшої обробки.

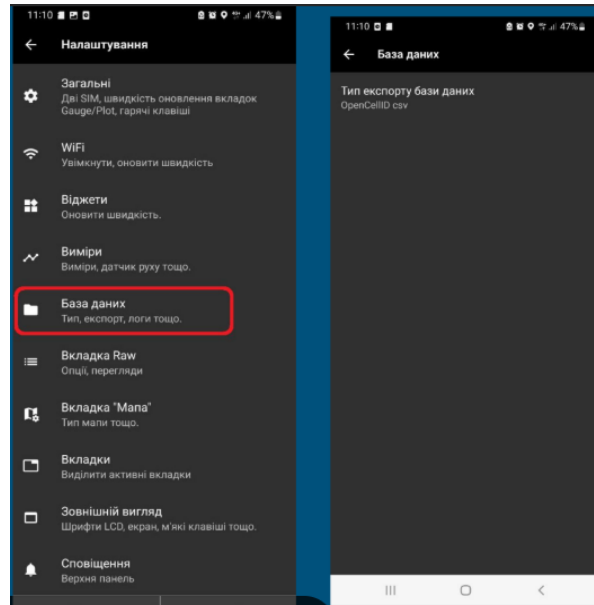


Рис. 4. Інтерфейс запису бази даних у Network cell info Lite [5, с 133]

Для кращого наочного відображення результатів, додамо можливість прив'язки по координатам значення напруженості поля мережі мобільного зв'язку.

Тестування вимірювання рівнів сигналів виконано вздовж заданого маршруту, вказаного на рис. 5, для мережі Lifecell стандарту LTE в діапазоні частот 2100 МГц.

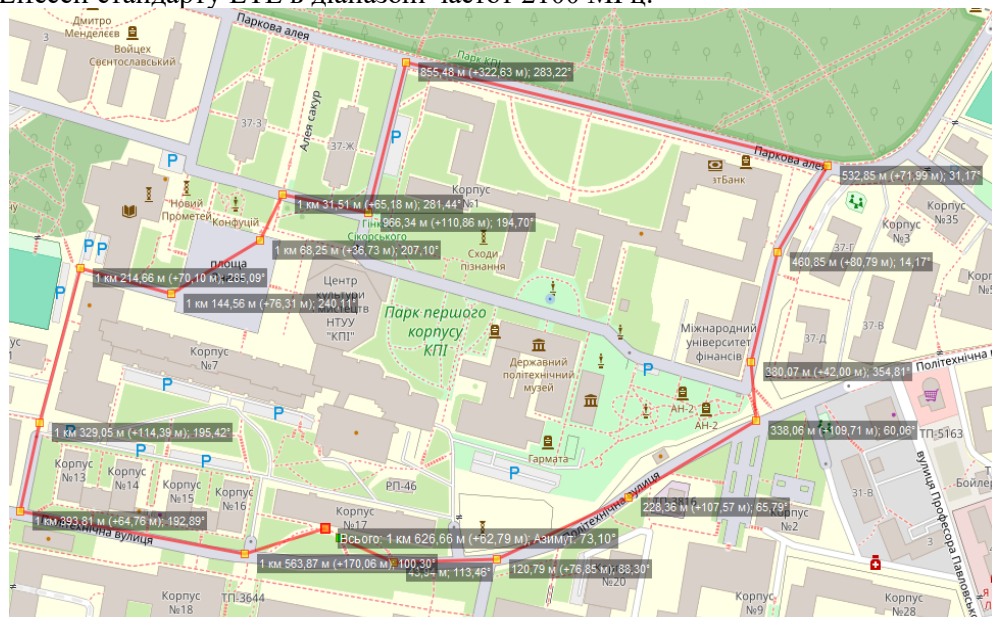


Рис.5. Маршрут, використаний для побудови карти рівнів сигналів оператора мобільного зв'язку

На рис.6 показані записи результатів дослідного drive-test.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
mcc	mnc	lac	cellid	lat	lon	signal	ur	rating	speed	direction	act	ta	psc	tac	pci
255	6	13428	207516191	50.4476157	30.4581664	-87	13	7.1	0.089554176	0.0	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207516191	50.4476028	30.4581741	-87	13	6.0	0.16443552	345.81482	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207516191	50.4475937	30.458168	-87	13	6.0	0.14243044	252.85463	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207516191	50.4475906	30.4581664	-87	13	6.1	0.093105406	0.0	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207516191	50.4475902	30.458153	-87	13	6.3	0.096650496	0.0	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207516191	50.4475902	30.458153	-87	13	6.3	0.096650496	0.0	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207516191	50.4476021	30.4581763	-87	13	23.6	0.095200144	0.0	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207516191	50.4476053	30.4581857	-87	13	12.4	0.042705707	0.0	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207516191	50.4476063	30.4581541	-87	13	5.7	0.24319157	101.90062	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207516191	50.447609	30.4581646	-87	13	6.6	0.1814541	358.2626	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207516191	50.4476107	30.458173	-87	13	6.8	0.33382025	331.71414	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207516191	50.4476429	30.4581314	-87	13	9.1	1.1932917	318.7993	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207557653	50.4477	30.4581333	-103	13	11.3	1.0196939	47.640396	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207557653	50.4477049	30.458134	-98	13	8.4	0.9916056	186.96667	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207698443	50.4474358	30.4582525	-82	13	8.6	0.92097276	146.96315	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207698443	50.447391	30.4583064	-81	13	7.4	0.62543654	156.08105	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207698443	50.4473436	30.4583748	-76	13	7.0	1.1635774	132.73354	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207698443	50.4473144	30.4584527	-82	13	7.7	1.1604825	139.50081	LTE	0		13428	2147483647
255	6	13428	207516191	50.4472787	30.458541	-76	14	8.1	1.2524368	99.21117	LTE	0		13428	2147483647

Рис.6. Видобуті дані логів про покриття радіосигналом у форматі csv

Обробку зібраних даних (імпортованих .csv файлів) було проведено у середовищі Matlab online за наступною процедурою:

1. Імпорт CSV-файлів;
2. Явне перетворення імпортованої таблиці у числові масиви подвійної точності для подальшої обробки у Matlab online.
3. Розрахунок довжини маршруту та відстані між сусідніми точками.

Оскільки бази даних надають лише географічні координати (широта φ + довгота λ), необхідно розрахувати відстань між сусідніми точками, приймаючи Землю за сферу (рис. 7).

Розрахунок найкоротшої відстані (d , у радіанах) між двома точками на земній поверхні виконується за формулою [6], (1):

$$\cos(d) = \sin(\varphi_A) \cdot \sin(\varphi_B) + \cos(\varphi_A) \cdot \cos(\varphi_B) \cdot \cos(\lambda_A - \lambda_B) \quad (1)$$

де: φ_A і φ_B — широти, λ_A , λ_B — довготи даних пунктів, d — відстань між пунктами, що вимірюється в радіанах довжиною дуги великого кола земної кулі.

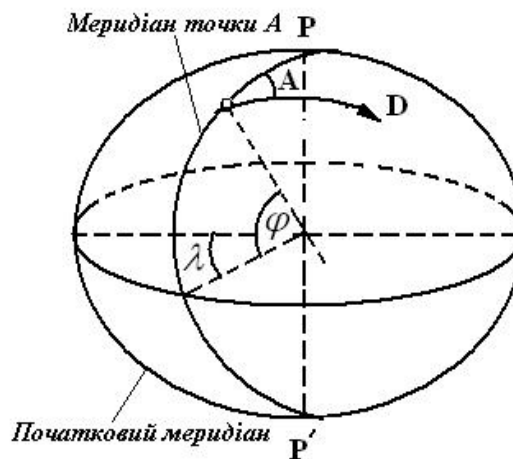


Рис.7. Відліки координат сферичної Землі. [6]

Лінійна відстань у кілометрах між сусідніми точками розраховується, як [7], (2):

$$L = d \cdot R \quad (2)$$

де: $R = 6371$ км — це радіус Землі

Шляхом сумування відстаней L для всіх пар сусідніх точок отримується загальна довжина маршруту. На основі цього авторами був розроблений повний алгоритм побудови залежності прийнятої потужності від пройденого шляху (рис. 8).

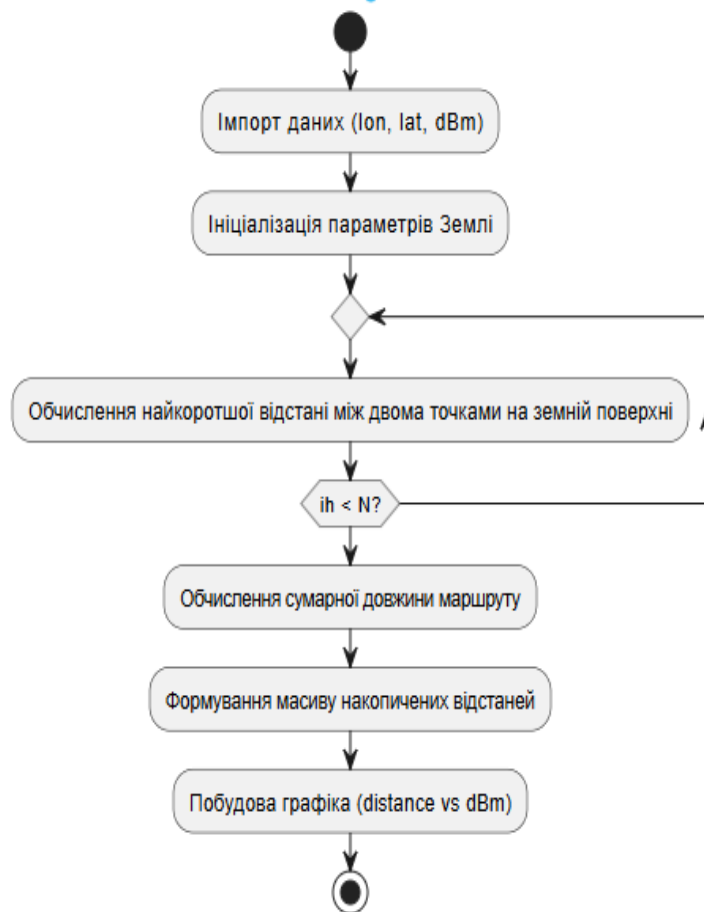


Рис.8. Блок-схема алгоритму побудови залежності прийнятої потужності від пройденого шляху
 Реалізацією алгоритму став графік покриття радіосигналом, рис. 9 за подолання маршруту, рис.

5.

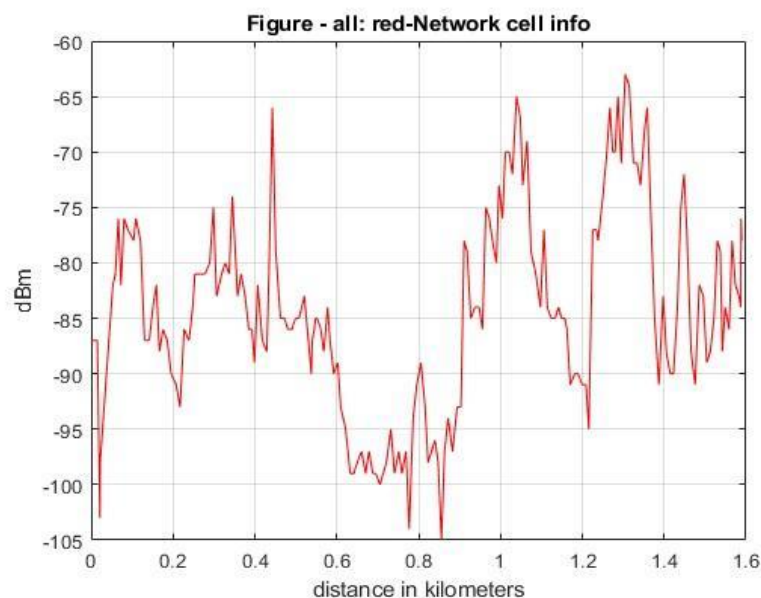


Рис.9. Залежність загасання від довжини маршруту.

де: Червона крива — це дані Network cell info Lite, діапазон 2100 МГц

Результати дослідження.

Аналіз отриманих після тестування часово-просторових рядів рівнів сигналу вздовж маршруту та побудовані профілі загасання/покриття показали, що дискретність вимірювань застосунку Network Cell Info Lite є достатньою для досягнення мети навчальних завдань зокрема проведення лабораторних робіт. Крім того, розроблений метод продемонстрував, що розрахована дистанція відмінно узгоджується з фактично пройденою користувачем. Це свідчить про те, що розроблений алгоритм

забезпечує коректну геоприв'язку та дозволяє формувати карти покриття (traffic map) на основі доступних даних користувача.

Використання не професійного застосунку в рамках лабораторних робіт має як переваги, так і значні недоліки:

Перевагами додатку Network cell info Lite є:

1. Можливість широкого використання та необмежений доступ до програмного забезпечення.
2. Сумісність із широким переліком пристроїв.
3. Відсутність необхідності модифікації програмного забезпечення мобільного пристрою для повноцінної роботи.
4. Відсутність неінформативних нульових значень у комірках бази даних.
5. Відображення поточного діапазону частот (LTE Band 1 тощо).
6. Експорт даних у зручні формати.

З недоліків програми можна виділити наступні:

1. Немоżliвість примусової прив'язки до певного діапазону частот (стандарту) — діапазон частот змінюється незалежно від користувача.
2. Спостереження раптових локальних флуктуацій рівня сигналу до 20 dBm при знаходженні в одній точці, через автоматичні перестроювання мережі.
3. Точність показників загасання обмежується одиничними значеннями.

Через ці недоліки, непрофесійне програмне забезпечення дає лише імітацію професійного аналізу моніторингу мережі. Отримується точність вимірів, що піддається сумніву, та обмежений набір інформації про мережу обслуговування. Професійні програмні застосунки були б більш корисними для студентів у формуванні професійних навичок та розуміння потрібних термінів і характеристик.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

Непрофесійне програмне забезпечення *Network cell info Lite*, незважаючи на зручний та інформативний інтерфейс, надає обмежену інформацію про мережу обслуговування, а точність вимірів піддається сумніву. Проте, розроблений авторами алгоритм побудови залежності прийнятої потужності від пройденого шляху показав свою надійність. Надійність алгоритму підтверджується тим, що дистанція, підрахована ним, збігається з фактично пройденим маршрутом, рис. 9, 5. Але застосування цього алгоритму можна не обмежувати тільки мобільним застосунком, а й змінити тестову установку на SDR приймач у зв'язі з GPS антеною. Це дозволить також записувати сигнал та здійснювати його подальшу прив'язку до місцевості з подальшою обробкою для відображення напруженості поля.

Таким чином, запропонований спрощений метод, що використовує загальнодоступне обладнання та надійний алгоритм розрахунку дистанції на базі Matlab, є ефективним інструментом для проведення лабораторних робіт та оцінки просторових закономірностей поширення сигналу в умовах обмеженого матеріально-технічного забезпечення навчального процесу.

Список використаної літератури

1. Одарченко Р. С. Методи тестування та підвищення ефективності стільникових мереж 5G. *Visnik Nacional noi akademii nauk Ukraini*. 2021. № 10. С. 43–49. URL: <https://doi.org/10.15407/visn2021.10.043>.
2. Мобільна станція радіоконтролю мереж зв'язку PM1300-P4. *RADIOSOFT LTD*. URL: https://radiosoft.net.ua/production_6.html.
3. R&S@TSME6 ULTRACOMPACT DRIVE TEST SCANNER. Product Brochure Version 17.00. R&S. URL: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/pdm/cl_brochures_and_datasheets/product_brochure/3607_6873_12/TSME6_bro_e_n_3607-6873-12_v1700.pdf.
4. Network Cell Info Lite & WiFi | Global Telecom. Global Mobile Insights | Global Telecom. URL: https://www.m2catalyst.com/nci-lite#:~:text=Network%20Cell%20Info%20can%20also%20*%20Monitor,of%20cellular%20signals%20*%20Customizable%20measurement%20settings
5. Єзерський Н. В. Організація досліджень та розробки РЕЗ. Практичні роботи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / Н. В. Єзерський, О. Т. Титенко, А. П. Середін ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 22,41 Мб) – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 143 с
6. Системи координат в геодезії. stoodwood.net. URL: https://studwood.net/1243938/geografiya/sistemi_koordinat_v_geodeziyi#google_vignette.
7. Довжина дуги кола | Круг, коло | Формули математики | Математика. Математика і фізика | Математика. URL: <https://www.matematika.com.ua/formuli-matematiki/krug-kolo/dovzhina-dugi-kola.html>.