

Методи та тенденції в галузі моніторингу сигналів, керування частотним ресурсом і геолокації передавачів бездротового зв'язку

Переклад: Вадим Потапенко

Редагування: Віктор Бутирін, директор, Юнітест

E-mail: Victor_Butyurin@unitest.com

РОЗТАШУВАННЯ ПРИЙМАЧА ТА ВИГРАШ ВНАСЛІДОК БЛИЗЬКОСТІ

Розташування обладнання для моніторингу сигналів і відповідної антени (антен) має значний вплив на загальну ефективність системи. Ослаблення сигналу, що поширюється, яке також називають втратами в тракці передавання, і завади від джерел, що розташовані поруч, можуть погіршити здатність приймача виявляти енергію, випромінювану цільовим джерелом. Втрати в тракці передавання залежать від частоти ВЧ-носії та відносної відстані між джерелом випромінювання і приймачем. На вищих носійних частотах втрати в тракці збільшуються, і може знадобитися розміщення приймача в безпосередній близькості від джерела випромінювання. Завади, що виходять із навколишнього середовища, також можуть впливати на роботу приймача. Наприклад, якщо приймач встановлено поблизу телерадіомовної станції, базової станції стільникового зв'язку або радіолокаційної системи, значні завади можуть виникати через паразитні випромінювання, гармоніки та інтермодуляційні спотворення [3]. Також може виникати перевантаження вхідного каскаду приймача, спричинене цими прилеглими потужними передавачами. Дуже важливо на початковому етапі моніторингу спектра у планованій області встановлення приймача оцінити вплив цих завад і систем високої потужності на роботу приймача.

Приймальні антени в системі моніторингу сигналів зазвичай встановлюються високо на щоглах, будівлях або пагорбах для зниження ефектів багатопроменевого поширення, викликаних навколишнім середовищем [4]. Ідеально, якщо антени знаходяться на відстані кількох довжин хвиль від навколишніх металевих об'єктів, оскільки в іншому випадку очікувана діаграма спрямованості антени може спотворитися [3]. Навіть металева щогла, на якій закріплена антена, може сильно вплинути на діаграму спрямованості [5]. Крім того, інші антени, що знаходяться в безпосередній близькості, можуть змінити діаграму спрямованості антени

та несподіваним чином знизити характеристики системи. Правильне розміщення антени має вирішальне значення для загальної ефективності системи моніторингу, особливо в тих випадках, коли обмежена кількість високопродуктивних приймачів розподілена по великій географічній території. З іншого боку, системи, засновані на недорогих ВЧ-сенсорах, дають змогу послабити вимоги до антен завдяки виграшу від близькості, що досягається за високої щільності розміщення приймачів. На рисунку 4 показано ВЧ-сенсор, встановлений на даху і під'єднаний до широкосмужової антени, водночас у системі використовується друга антена, встановлена на окремій щоглі. Сенсор розміщено відносно близько до антен, щоб зменшити втрати в кабелі, які можуть погіршити коефіцієнт шуму системи.

Коли місце розташування джерела випромінювання невідоме, для наземного застосування бажано використовувати всеспрямовані антени. На жаль, всеспрямовані антени мають низький коефіцієнт підсилення, приблизно 0 дБі, і не допомагають покращити відношення сигнал/шум приймача.



Рис. 4. ВЧ-сенсор і антени, встановлені на даху будівлі

* Закінчення. Початок див. CHIP NEWS, № 3, 2025.

Збільшення підсилення антени може покращити відношення сигнал/шум, але в цьому разі діаграма спрямованості антени сприятиме прийманню сигналу з певного напрямку. Якщо гостроспрямована (з високим підсиленням) антена не буде фізично або електронно спрямована в бік джерела випромінювання, існує ризик, що невідоме джерело випромінювання залишиться не виявленим через низький рівень прийнятого сигналу.

Сучасні системи бездротового зв'язку, як-от стільникові мережі та WLAN, часто використовують високі носійні частоти, що збільшує втрати у вільному просторі порівняно з системами, які працюють у діапазонах ДВЧ/УВЧ. Під час використання таких високих носійних частот може виникнути необхідність розміщення антени/приймача системи моніторингу ближче до джерела випромінювання для підтримання прийнятого рівня відношення сигнал/шум. Покращання сигналу, що досягається завдяки зменшенню відстані між джерелом випромінювання і приймачем, називається «виграшем внаслідок близькості». Наприклад, припустимо, що антени двох систем зв'язку розташовані на однаковій відстані від антени системи моніторингу. Одна система працює на носійній частоті 100 МГц зі смугою модуляції 20 кГц. Друга система працює на частоті 2.4 ГГц зі смугою модуляції 20 МГц. Яке значення SNR буде виміряно для кожної з цих систем за умови однакової потужності передавання, коефіцієнтів підсилення антен, втрат у кабелі та коефіцієнта шуму приймача? Які основні чинники впливають на різницю в значеннях SNR? Щоб відповісти на ці запитання й оцінити характеристики кожної системи, значення SNR розраховується за допомогою такого рівняння (1):

$$SNR = [P_T + G_T - P_L + G_R - C_L] - (-174 + NF + 10\log_{10}(BW)), \quad (1)$$

де SNR — відношення сигнал/шум на приймачі, дБм; P_T — потужність передавача, дБм; G_T — коефіцієнт підсилення антени передавача, дБ; P_L — втрати в тракті передачі, дБ; G_R — коефіцієнт підсилення антени приймача, дБ; C_L — втрати в кабелі між антеною і приймачем, дБ; NF — коефіцієнт шуму приймача, дБ; BW — смуга пропускання приймача, Гц.

Втрати в тракті передавання залежать від частоти ВЧ-носії та відстані між антенами джерела випромінювання і приймача. Втрати в тракті передавання збільшуються під час використання вищих частот і при зростанні відстані. Втрати в тракті передавання розраховують (у дБ) з використанням такого рівняння (2):

$$P_L = K + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(R), \quad (2)$$

де K — 32.45 (для R у км); f — частота, МГц; R — відстань, км.

Як приклад припустимо, що джерело випромінювання передає сигнал потужністю +20 дБм (100 мВт) на відстані 5 км від системи моніторингу. За коефіцієнта підсилення антен 0 дБі, нульових втрат у кабелях і коефіцієнта шуму приймача 14 дБ розрахункове відношення сигнал/шум для системи з частотою носійної 100 МГц і смугою модуляції 20 кГц становить приблизно +51 дБ. Для системи, що працює на частоті 2.4 ГГц зі смугою модуляції 20 МГц, розрахункове значення відношення сигнал/шум виявляється рівним -7 дБ. За таких умов вимірювання сигналу на 100 МГц буде відносно простим, а вимірювання сигналу на 2.4 ГГц виявиться дуже складним. У таблиці 2 наведено втрати в тракті передавання та характеристики SNR для цих двох систем. Різниця в значеннях SNR між цими системами безпосередньо залежить від частоти носійної та смуги модуляції. У цьому

Таблиця 2. Розрахований бюджет лінії зв'язку для двох типів систем бездротового зв'язку*

	Система 1	Система 2
Частота	100 МГц	2400 МГц
Смуга модуляції	20 кГц	20 МГц
Розрахункові втрати в тракті передавання	86 дБ	114 дБ
Розрахункове значення SNR	51 дБ	-7 дБ
* Базові параметри: $P_T = +20$ дБм; $G_T = 0$ дБ; $G_R = 0$ дБ; $C_L = 0$ дБ; $NF = 14$ дБ; $R = 5$ км.		

прикладі значення SNR для системи на 2.4 ГГц знижується на 28 дБ через збільшені втрати в тракті передавання, спричинені вищою частотою носійної, і додатково знижується на 30 дБ через збільшення потужності шуму, спричиненого ширшою смугою модуляції. Оскільки на практиці може бути важко значно покращити коефіцієнт шуму приймача та/або збільшити коефіцієнт підсилення антени приймача, підвищення значення SNR для систем, які працюють на високих носійних частотах, вимагає зменшення відстані між джерелом випромінювання і приймачем. Виграш внаслідок близькості дає змогу компенсувати надмірні втрати в тракті, що виникають під час передавання ВЧ-сигналу на вищих носійних частотах. Продовжуючи цей приклад, якщо мінімальне необхідне значення відношення сигнал/шум становить 10 дБ, то виграш внаслідок близькості має збільшити SNR з початкових -7 дБ до необхідних +10 дБ, що відповідає загальному приросту в 17 дБ.

У цьому випадку відстань між джерелом випромінювання і приймачем для системи на 2.4 ГГц має бути зменшена з початкових 5 км до менш ніж 0.7 км. Слід зазначити, що для збереження того самого покриття моніторингом на тій самій географічній території необхідно збільшити щільність приймачів під час роботи на вищих носійних частотах.

Розрахунки втрач у тракті передавання, показані вище, були зроблені для ідеальних умов прямої видимості без урахування негативного впливу багатопроменевго замирання та/або затінення. Багатопроменеве поширення може створювати додаткові втрати сигналу на приймачі та часто характеризується величиною глибини замирання.

Було проведено багато досліджень для оцінки та моделювання багатопроменевго замирання в різних типах місцевості. Загалом системи, що працюють у діапазоні ДВЧ/УВЧ, демонструють глибину замирань від 5 до 40 дБ під час роботи в міських і сільських районах [7, 8, 9]. Додаткові втрати амплітуди сигналу на приймачі необхідно враховувати при оцінці загального бюджету лінії зв'язку і розміщенні обладнання для моніторингу сигналів, особливо для систем з вузькою смугою модуляції.

Збільшення виграшу від близькості — це лише один із кількох методів боротьби зі згубними наслідками багатопроменевго поширення. Інший відносно простий метод передбачає використання другої антени, що може покращити характеристики замирань внаслідок застосування просторового або поляризаційного рознесення. Відомо, що дві антени, рознесені на відстань понад 1/4 довжини хвилі або орієнтовані з перехресною поляризацією, мають неко-рельовані характеристики багатопроменевго поширення. Таким чином, якщо одна антена відчуває глибоке багатопроменеве замирання, друга антена може приймати сигнал із прийнятним рівнем потужності. Система моніторингу скануватиме обидві антени, вибираючи для аналізу сигнал із найбільшою потужністю. Більшість систем моніторингу сигналів оснащені схемами ВЧ-мультиплексування для дода-

вання додаткових антен відповідно до вимог робочого середовища.

Наприклад, ВЧ-сенсор Keysight N6841A має три антенні порти: два для мультиплексування антен і один для опціональної підсистеми GPS. Два порти для мультиплексування антен можуть бути використані для просторового та/або поляризаційного рознесення для боротьби з багатопроменими завадами або налаштовані для розширення вимірюваного діапазону частот у разі використання вузькосмугових антен. Розуміння впливу багатопроменового поширення на характеристики системи моніторингу створило потребу в передових вимірювальних інструментах, спеціально розроблених для імітації умов багатопроменового поширення на лабораторному стенді. Для тих, хто зацікавлений у додаткових подробицях щодо характеристик багатопромених, багатоантенних систем і методів імітації багатопромених каналів, компанія Keysight опублікувала докладні рекомендації щодо застосування на цю тему, які включають численні приклади вимірювань з використанням імітатора MIMO каналів Keysight PXB N5106A [10].

ЦІЛІ ТА МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СИГНАЛІВ

Як згадувалося раніше, завдання будь-якої системи моніторингу сигналів полягає в забезпеченні достатньої продуктивності та швидкості, щоб швидко виявляти, ідентифікувати та, за необхідності, визначати місце розташування передавання сигналів бездротового зв'язку. Це передавання може бути переривчастим, мати коротку тривалість або бути широкосмуговим при низькому відношенні сигнал/шум. Сигнали, що становлять інтерес, можуть включати трансляцію від мультимедійних систем мовлення, комунікації в глобальних мережах (WAN), зокрема передавання через стільникові телефони та базові станції, комунікації в бездротових локальних мережах (WLAN). Крім того, до цієї категорії входять радіорелейні лінії зв'язку точка-точка включно із супутниковими каналами приймання та передавання, а також комунікації радіочастотної ідентифікації (RFID) зчитувач/мітка, включно з технологіями активних і пасивних міток. Вимірювання, що проводяться в широкому діапазоні частот, у будь-який момент часу можуть містити багато різних типів сигналів.

Завдання системи моніторингу сигналів полягає в тому, щоб просіювати численні сигнали та виділяти для аналізу тільки ті, які становлять інтерес.

Ефективне сортування даних спектра може виявитися непростим завданням для оператора, який використовує автономний аналізатор спектра. Автоматизація процесу пошуку та ідентифікації сигналів найкраще здійснюється за допомогою програмних засобів, таких як інструмент аналізу Keysight N6820E Signal Surveyor. Коли інструмент огляду сигналів налаштований для спільної роботи з високопродуктивним приймачем, як-от приймач на базі VXi Keysight E3238S або ВЧ-сенсор Keysight N6841A, процес автоматичного виявлення сигналів може виконуватися з використанням порогових значень і програмних попереджувальних сигналів, які можна налаштувати на запуск реакції системи в разі перевищення вимірюваної потужності сигналу заздалегідь визначеної амплітуди. На рисунку 5 показано типову конфігурацію ВЧ-сенсора, під'єданого мережею до програмного забезпечення огляду сигналів. ВЧ-сенсор може безперервно передавати дані, коли смуга пропускання ПЧ налаштована на 200 кГц або менше. Через затримки в мережевому протоколі 10/100 TCP/IP сигнали з ширшими смугами ПЧ, до 20 МГц, потребують передавання даних блоками з часовими мітками. Програмне забезпечення огляду сигналів обробляє оцифровані дані на наявність сигналів, що цікавлять. Програмне забезпечення також може бути налаштоване на автоматичну ідентифікацію типу модуляції (опція MR1) або на збереження даних часових рядів або даних за частотою.

Архівовані дані згодом можуть бути піддані додатковій обробці з використанням різних комерційних і спеціалізованих програмних засобів.

Як показано на рисунку 5, програмне забезпечення Keysight 89601A можна використовувати для демодуляції захоплених аналогових або цифрових модульованих сигналів, а програмний плеєр Keysight N6829A — для прослуховування відновленого аудіосигналу.

Обмежувальні лінії та інші програмні попереджувальні сигнали є важливою функцією будь-якої системи моніторингу сигналів. Ці попереджувальні сигнали можна налаштувати для автоматизації процесу виявлення невідомих джерел випромінювання, а також для підтвердження відповідності спектра відомих передавачів. Порогові рівні можуть бути визначені або на основі вимірювань фоновго ефіру, або автоматично сконфігуровані системою, або задані користувачем. Наприклад, на рисунку 6 показано три типи встановлення порогових рівнів, доступних із використанням програмного забезпечення огляду сигналів N6820E. На верхньому графіку показано «порог за рівнем», який виконує функцію, аналогічну обмежувальній лінії в аналізаторі спектра. Порог за рівнем ефективний за стабільного і рівномірного рівня шуму, характерного для спектрів у діапазонах ДВЧ/УВЧ і НВЧ. На центральному графіку показано функцію встановлення «автоматичного порога», яка підлаштовує поріг під рівень шуму. Ця функція особливо важлива у випадках, коли рівень шуму не є рівномірним, як, наприклад, у діапазоні КХ, або змінюється залежно від часу доби та року. На нижньому графіку показано функ-

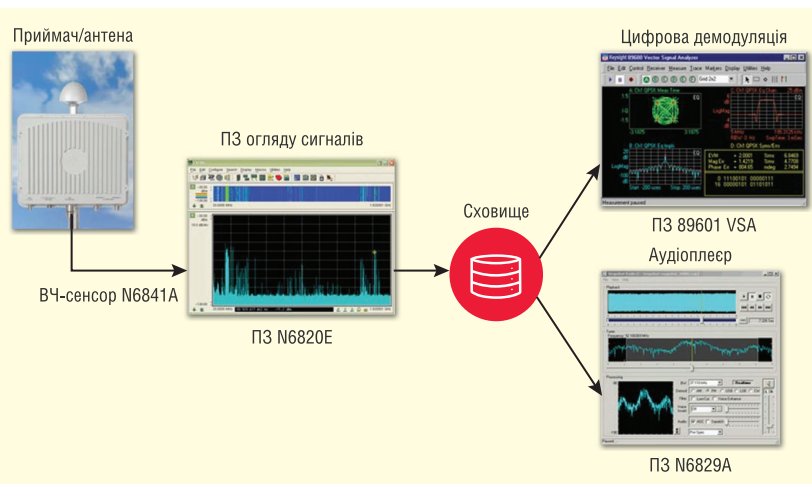
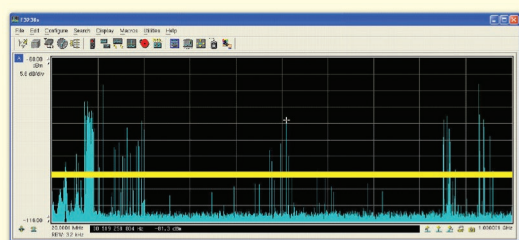
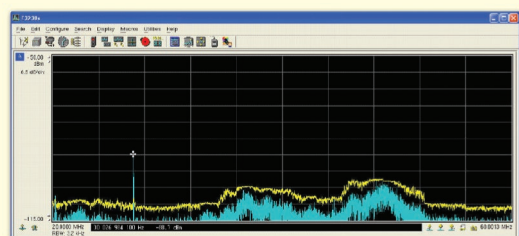


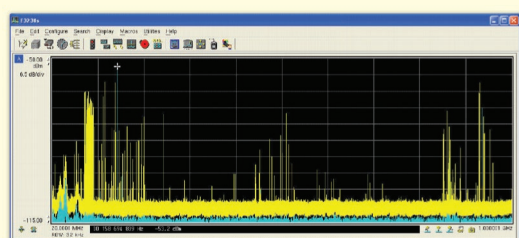
Рис. 5. Програмне забезпечення автоматизації моніторингу сигналів, що збирає дані часових рядів із приймача і зберігає дані для подальшої обробки



а) Поріг за рівнем



б) Автоматичний поріг



в) Поріг з ефіру

Рис. 6. Методи встановлення порогів для детектування енергії

цію встановлення «порога з ефіру», яка використовує знімок поточного спектра, включно з усіма присутніми сигналами, і потім використовує цю форму як порогове значення для подальших вимірювань.

Ще одним варіантом автоматичного визначення сигналів, що цікавлять, є використання програмного забезпечення «універсального детектора сигналів». Цей тип спеціалізованого програмного забезпечення, такий як опція USD у ПЗ Keysight N6820E, автоматично ідентифікує сигнали, аналізує характеристики ВЧ-передавання.

Універсальні детектори сигналів містять у собі фільтри за смугою, яку займає сигнал, і за формою сигналу, частотні плани, широкосмугові детектори та вузькосмугові критерії.

Комбінація широкосмугових і вузькосмугових технологій дає змогу ефективно просіювати переповнений спектр і значно збільшує ймовірність перехоплення. Широкосмуговий пошук обробляє всі сигнали в ефірі та використовує інструменти детектування сигналів, щоб відкидати всі сигнали, залишаючи тільки ті, що цікавлять. Після виявлення сигналів, що цікавлять, тільки їхні дані будуть зібрані та записані для додаткового аналізу. У міру виявлення нових сигналів може оновлюватися журнал історії енергії.

З появою нових сигналів оновлюється історія подій, закладена в програмі спектрального моніторингу.

У журнал історії енергії автоматично записуються параметри всіх сигналів, енергія яких перевищує заданий поріг, під час кожного свіпуювання. Нижче наведено список типових параметрів, які записуються у файл журналу історії енергії. Ці параметри також можуть використовуватися як умови для спрацьовування сигналізації, яка ініціює відповідь системи.

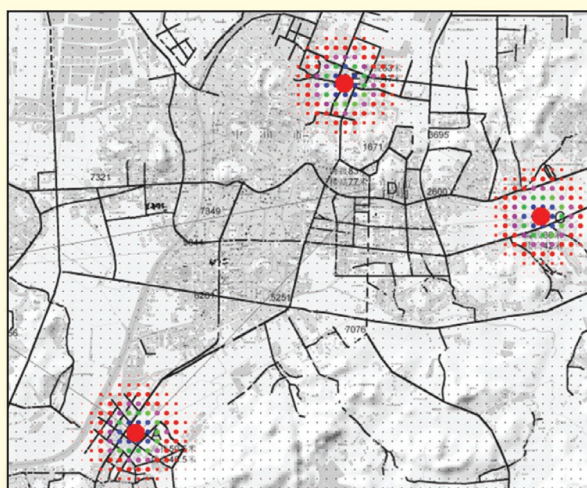
МЕРЕЖІ СЕНСОРІВ І ГЕОЛОКАЦІЯ

Тенденція сучасних систем зв'язку до використання вищих носійних частот і ширших смуг сигналів призводить до збільшення втрат у тракці передавання та рівнів шуму на приймачі. Як було показано раніше, ймовірність виявлення як відомих, так і невідомих сигналів безпосередньо залежить від частоти носійної джерела випромінювання і ширини смуги модуляції. У галузі бездротового зв'язку, особливо в системах стільникового зв'язку, що розвиваються, таких як 3G і 4G, також спостерігається тенденція до збільшення щільності базових станцій. Численні промислові та академічні дослідження вивчають топології пікостільників і фемтостільників для ефективного повторного використання частот і зниження рівнів потужності передавачів [11, 12]. Поєднання вищих втрат у тракці передавання та нижчих рівнів потужності передачі знижує ймовірність виявлення широкосмугових сигналів. Щоб подолати ці труднощі, система моніторингу сигналів може підвищити свою ефективність, збільшивши виграш внаслідок близькості приймача, тобто розмістивши систему моніторингу фізично ближче до джерела випромінювання.

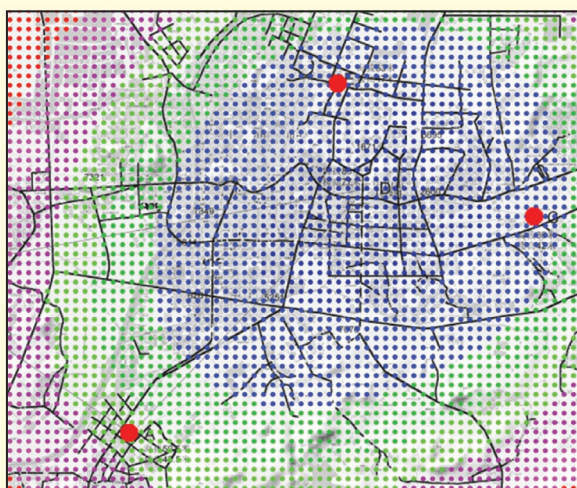
Однак збільшення виграшу внаслідок близькості має свою ціну. Якщо відстань між джерелом випромінювання і приймачем необхідно скоротити вдвічі для забезпечення адекватного відношення сигнал/шум, то еквівалентна площа покриття зменшиться до 1/4 від початкової. Для підтримки прийнятних рівнів ймовірності виявлення мобільні та/або портативні приймачі можуть бути переміщені в ті географічні зони, де очікується робота джерел випромінювання. Як альтернативу можна розмістити приймачі з вищою щільністю, включно з фіксованими недорогими ВЧ-сенсорами, розподіленими по всій території та об'єднаними в мережу для покращення характеристик всієї системи моніторингу.

Ця мережа сенсорів також може використовуватися для визначення місця розташування джерела випромінювання, що називається терміном геолокація.

Мережі сенсорів досліджуються і впроваджуються останніми роками для різних застосувань, як-от моніторинг доквілля, відстежування обладнання та оптимізація виробничих процесів. Однак застосування цієї технології для моніторингу сигналів і управління частотним ресурсом є відносно новим напрямком у цій галузі. Мережі ВЧ-сенсорів для моніторингу сигналів реалізують два підходи до обробки даних: некогерентне або когерентне виявлення. Обидва методи застосовуються до вимірювань розподілених приймачів, підключених через проводову транспортну мережу. Некогерентне виявлення забезпечує вищу швидкість виявлення завдяки зниженню вимог до обробки сигналів і навантаження на транспортну мережу. Однак некогерентне виявлення може призвести до нездатності системи відокремити сигнал від шуму, оскільки шум зміщує показники вимірювання потужності та маскує сигнали з низьким рівнем. У такому разі для підвищення ймовірності виявлення (PoD) під час використання некогерентного виявлення потрібне позитивне відношення сигнал/шум. З іншого боку, мережі ВЧ-сенсорів, що використовують когерентне виявлення, об'єднують сигнали, отримані від кількох приймачів, що істотно покращує ймовірність виявлення порівняно з некогерентними методами. Один із методів когерентної обробки використовує функцію крос-кореляції. У цьому випадку вимірювання одного і того ж сигналу, що передається, отримані від двох окремих сенсорів, піддаються крос-кореляції, що призводить до придушення незалежних шумових характеристик.



а) Традиційне некогерентне виявлення



б) Когерентне виявлення з використанням мережі сенсорів

Рис. 7. Ймовірність виявлення сигналів при використанні некогерентних і когерентних методів: традиційне некогерентне виявлення (а); когерентне виявлення з використанням мережі сенсорів (б)

В ідеальному випадку, за тривалого часу крос-кореляції, шум приймача і навколишнього середовища перестає відігравати вирішальну роль, і ефективність системи виявлення стає менш обмеженою характеристиками самого приймача, включно з його коефіцієнтом шуму. Навіть для короткочасних сигналів когерентне виявлення з використанням кількох сенсорів перевершує некогерентні методи. Для порівняння ефективності за ймовірністю виявлення між приймачами, що використовують некогерентне виявлення, і мережевою системою, що використовує когерентне виявлення, на рисунку 7 показано контури PoD для трьох ВЧ-сенсорів, які працюють за традиційними методиками та методами крос-кореляції. На цьому рисунку зони, позначені синім кольором, мають понад 80% ймовірність виявлення сигналу з частотою 1.6 ГГц, потужністю 300 мВт і смугою модуляції 200 кГц. Зони, заштриховані червоним кольором, мають ймовірність виявлення менше ніж 20%. Як показано на рисунку 7а, сенсори, які незалежно контролюють рівень сигналу, мають дуже невелику зону з високою ймовірністю виявлення. У цій традиційній некогерентній схемі ефективність виявлення обмежена характеристиками приймача і виражається внаслідок близькості.

Як альтернативу на рисунку 7б показано характеристики ймовірності виявлення для тих самих сенсорів, що використовують ті самі вимірювання, але тепер об'єднаних когерентно. Як видно з рисунка, зони з високою ймовірністю виявлення значно розширені порівняно з тими, що отримані з використанням традиційних методів. Підхід із використанням мережі сенсорів для виявлення сигналів дає змогу застосовувати недорогі приймачі або ВЧ-сенсори з «достатнім» рівнем характеристик, надаючи водночас масштабовану систему, керовану віддалено.

Ще однією перевагою підходу з використанням ВЧ-сенсорів є можливість геолокації джерел випромінювання в навколишньому середовищі. Визначення місця розташування передавачів, як усередині приміщень, так і зовні, має багато застосувань, включно з пошуково-рятувальними операціями, відстежуванням дорогого устаткування і пошуком несанкціонованих або таких, що створюють перешкоди, передавачів, і це лише деякі з них. Для визначення

місця розташування джерел випромінювання розроблено різні методи. До таких методів належать вимірювання рівня прийнятого сигналу (*received signal strength, RSS*), визначення кута приходу (*angle of arrival, AOA*), вимірювання часу приходу (*time of arrival, TOA*) і вимірювання різниці в часі приходу (*time difference of arrival, TDOA*). Більшість цих підходів вимагають проведення вимірювань із трьох або більше різних місць. Незалежно від того, чи пов'язані вимірювання з рівнем потужності, часом приймання сигналу або будь-яким іншим параметром, або їхньою комбінацією, місце розташування джерела випромінювання зазвичай визначають за допомогою математичної триангуляції прийнятих сигналів. Когерентна обробка сигналів, виміряних з використанням мережі ВЧ-сенсорів, ідеально підходить для геолокації. Для цього застосування властивості крос-кореляції, що обговорювалися раніше, також дають змогу визначити різницю в часі приходу сигналу між парами сен-

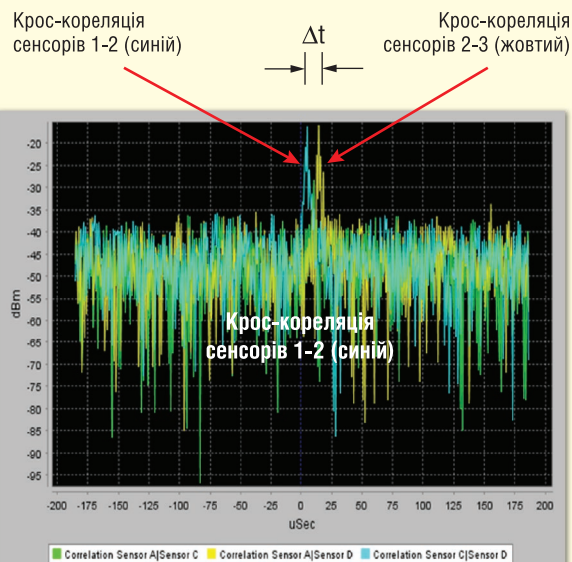


Рис. 8. Крос-кореляція між кількома ВЧ-сенсорами

соров. Якщо виміряти TDOA для трьох і більше пар ВЧ-сенсорів, можна за допомогою триангуляції визначити місце розташування невідомого джерела випромінювання щодо позицій сенсорів. Наприклад, на рисунку 8 показано результати крос-кореляції для вимірювань з двох пар сенсорів. На цьому рисунку крос-кореляція між вимірюваннями, отриманими від сенсора 1 і сенсора 2, позначена синім кольором, а крос-кореляція між сенсорами 2 і 3 — жовтим. Кореляція між сенсорами 1 і 3 не показана, але вона потрібна для визначення місця розташування джерела випромінювання.

Пік крос-кореляції відповідає відносному часу між сигналами, виміряними відповідною парою приймачів.

Усі вимірювання кореляції на цьому рисунку отримано від одного джерела випромінювання, що передає широко-смуговий сигнал CDMA. Оцінка місця розташування джерела випромінювання розраховується на основі різниці в часі між піками функцій крос-кореляції. У цьому прикладі різниця в часі, Δt , між піками функцій крос-кореляції для пар 1-2 і 2-3 становить приблизно 10 мікросекунд. Використовуючи різницю в часі між піками для пар сенсорів 1-2/1-3 і 2-3/1-3, можна триангулювати місце розташування джерела випромінювання. Слід зазначити, що використання додаткових сенсорів може значно покращити точність геолокації, особливо в умовах сильного багатопроменевого поширення сигналів.

ВИСНОВОК

У цій статті було розглянуто методи, цілі та напрямки розвитку моніторингу сигналів і керування частотним ресурсом ВЧ-спектра. Було показано, що нові технології, засновані на розподілених недорогих ВЧ-сенсорах, покращують можливості виявлення в системах моніторингу. Також було представлено метод визначення місця розташування джерел випромінювання.

Щоб отримати додаткову детальну інформацію щодо продукції компанії Keysight Technologies, звертайтеся до її офіційного дистриб'ютора в Україні — компанії Юнітест:

04053, м. Київ, вул. Олеся Гончара, 6, тел. +38 (044) 272-60-94, e-mail: web@unitest.com www.unitest.com

Література:

1. E.D. Nanoun, V.G. Tsiafakis, E.S. Kaporeliotis, A.I. Sotiriou, C.N. Capsalis, «Electromagnetic compatibility between GSM base station and EEG signal», *IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications 2005*, vol. 1, pp 535–538, Aug. 2005.
2. J.L. Silberberg, «Achieving medical device EMC: the role of regulations, standards, guidelines and publications», *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 2001, vol. 2, pp 1298–1303, Aug. 2001.
3. *International Telecommunications Union Radiocommunication Sector (ITU-R), Supplement to Handbook on Spectrum Monitoring*, 2008.
4. A.G. Kanatas, N. Papadakis, P. Constantinou, «An empirical model for high elevation angle land-mobile satellite channels at urban environment», *IEEE Communications Letters*, vol., issue 4, pp 92–93, April 1998.
5. M. Albani, P. Focardi, A. Freni, S. Maci, «Pattern distortion for corrugated horns open-ended on a finite ground plane», *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 1999, vol. 4, pp 2272–2275, July 1999.
6. *Modern Antenna Design*, Thomas A. Milligan, Wiley Interscience, 2nd edition, 2005.
7. K.H. Loo, W.T. Barnett, A. Vigants, F.G.; Inserra, J.R.; Brockel, «US Army tactical LOS radio propagation reliability», *Proceedings of the Tactical Communications Conference*, 1992. vol. 1 *Tactical Communications: Technology in Transition*, pp 109–117, April 1992.
8. T.S. Seidel, S.Y. Rappaport, «Simulation of UHF indoor radio channels for open-plan building environments», *IEEE 40th Vehicular Technology Conference*, pp 597–602, May 1990.
9. H. Suzuki, «A Statistical Model for Urban Radio Propagation», *IEEE Transactions on Communications*, vol. 25, issue 7, pp 673–680, Jul. 1977.
10. Keysight Application Note «MIMO Channel Modeling and Emulation Test Challenges», lit. number 5989-8973EN, Oct. 2008.
11. C. Edwards, «The future is femto», *Engineering & Technology*, vol. 3, issue 15, pp 70–73, Sept. 2008.
12. D. Das, V. Ramaswamy, «On the Reverse Link Capacity of a CDMA Network of Femto-cells», *IEEE Sarnoff Symposium*, 2008, pp 1–5, April 2008.

КОМПАНІЯ KEYSIGHT ОТРИМАЛА КОНТРАКТ НАТО FORACS

Компанія **Keysight Technologies** отримала контракт з Центром перевірки точності датчиків і зброї ВМС НАТО (FORACS) на модернізацію своїх можливостей з тестування критично важливих систем радіолокації та засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ). За цією угодою Keysight постачатиме радіолокаційні генератори цілей і рішення для тестування засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), які будуть розгорнуті на базах ВМС НАТО, що дасть змогу калібрувати й обслуговувати радіолокаційні системи НАТО і оцінювати ефективність РЕБ.

Сучасні збройні та військово-морські сили значною мірою залежать від точності та надійності своїх радіолокаційних систем і систем РЕБ для підтримання ситуаційної обізнаності, ефективного цілевказання і своєчасного виявлення загроз. В епоху дедалі складніших загроз радіоелектронної боротьби, що швидко розвиваються, оборонні організації потребують складних, високоточних випробувальних комплексів. Ці випробувальні платформи повинні бути здатні відтворювати реальні сценарії з динамічними багатомітерними сигналами, передовим моделюванням загроз і методологіями замкненого циклу випробувань.

Генератори радіолокаційних цілей і рішення Keysight для РЕБ розроблені з урахуванням цих вимог, що дає змогу FORACS НАТО ретельно оцінювати та оптимізувати оперативну готовність радіолокаційних систем і систем РЕБ у всіх країнах-членах Альянсу. Контракт передбачає інтеграцію і постачання генераторів радіолокаційних цілей наступного покоління та імітаторів загроз РЕБ. Це забезпечить посилену перевірку точності й ретельне тестування продуктивності системи в складних електромагнітних умовах. Зокрема, генератор радіолокаційних цілей використовує готові комерційні компоненти Keysight з індивідуальним програмним забезпеченням і графічним інтерфейсом користувача, повністю розробленим в Європі та пристосованим до специфічних вимог НАТО.

www.keysight.com