

АНАЛІЗ РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Бугайов М. В.

Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна

E-mail: karunen@ukr.net

SPECTRUM SENSING WITH INFORMATION TECHNOLOGY

Information model for signals selection in panoramic radio monitoring systems by their external parameters was developed. The essence of proposed model is to detect occupied bands of radio frequency spectrum, estimate center frequency and bandwidth of each channel, noise level and signal-to-noise ratio. Frequency channels creation allows for signal filtering and estimation of pulse durations, as well as occupancy of each channel.

На сьогоднішній день спостерігається ускладнення радіоелектронної обстановки у зв'язку зі стрімким зростанням кількості радіоелектронних засобів [1]. Найважливішу частину сучасного радіомоніторингу складає панорамний огляд широкої смуги частот і селекція сигналів [2]. Розширення ширини миттєвої смуги частот аналізу у сучасних радіоприймальних пристроях дозволяє аналізувати ділянки радіочастотного спектра (РЧС), в яких одночасно може знаходитися значна кількість аналогових та цифрових сигналів. Утворення приймальних каналів дозволить працювати в меншій смузі частот, що приведе до підвищення відношення сигнал-шум (ВСШ) і покращення показників якості оброблення. Багатоканальне оброблення сигналів у панорамних системах радіомоніторингу потребує значних обчислювальних потужностей. Тому попередня селекція сигналів за зовнішніми параметрами дозволить системі радіомоніторингу автоматично адаптуватися до подальшого оброблення, зокрема щодо вибору алгоритму розпізнавання виду модуляції.

Основне завдання попереднього (швидкого) аналізу виділеної смуги РЧС полягає у виявленні та селекції сигналів радіоелектронних засобів (РЕЗ), які в ній працюють. Для цього необхідно вирішити такі завдання:

- виявити частотні канали;
- оцінити ВСШ в каналах;
- визначити частотно-часову структуру сигналів у каналах;
- провести селекцію сигналів у каналах за їх зовнішніми параметрами.

Вирішення даних завдань дасть змогу виділити з усього потоку сигналів ті, що представляють інтерес, і провести їх детальний аналіз для визначення внутрішніх параметрів із подальшою ідентифікацією РЕЗ.

Сутність запропонованого підходу до селекції сигналів полягає у виявленні зайнятих ділянок РЧС (частотних каналів), визначенні центральної частоти та ширини смуги кожного каналу, оцінюванні рівня шуму та ВСШ. Утворення частотних каналів дозволяє проводити фільтрацію сигналів та оцінювати тривалості імпульсів, а також завантаженість кожного каналу. Оброблення сигналу здійснюється у часових вікнах, причому через вплив

випадкових факторів виміряні значення параметрів для кожного часового фрагменту будуть відрізнятися один від одного. Тому виміряні значення параметрів для кожного фрагменту сигналу записуються в асоціативні масиви, що в подальшому полегшує селекцію сигналів. Доступ до даних можна здійснювати як за номером частотного каналу (рядки таблиці), так і за параметрами сигналів (ключами), які є заголовками стовпців таблиці. Асоціативні зв'язки між даними забезпечать гнучку фільтрацію сигналів за будь-якими комбінаціями параметрів.

Розроблений алгоритм аналізу РЧС потребує великої кількості вхідних параметрів для своєї роботи. У зв'язку з цим виникає можливість гнучкого налаштування алгоритму на роботу з різними видами сигналів без зміни його структури, а лише шляхом налаштування значень деяких параметрів.

Переважну більшість параметрів можна встановити заздалегідь і не коригувати їх під час виконання алгоритму. Дані параметри є суто технічними і при їх правильному підборі вони несуттєво впливають на роботу алгоритму. Часові, частотні та амплітудні параметри можна використовувати для пошуку сигналів конкретних РЕЗ.

На рис. 1а наведено спектрограму запису сигналу у смузі частот шириною 20 МГц і тривалістю близько 3,5 с. Із даного рисунку видно, що деякі сигнали є імпульсними, а інші виглядають безперервними. На рис. 1б показано згладжений спектр потужності у смузі частот аналізу, рівень шуму та поріг, а також виділені частотні канали.

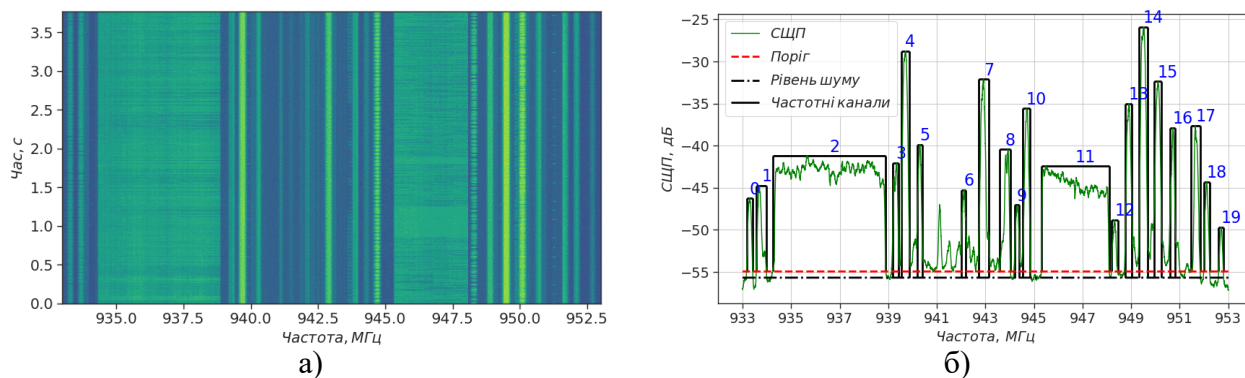


Рис. 1. Спектрограма (а) та спектр із виділеними частотними каналами (б).

Подальше каналоутворення та аналіз сигналів у часовій області у кожному частотному каналі дозволяє оцінити часову структуру сигналів та доцільність їх подальшого оброблення із урахуванням оцінок ВСШ.

Для каналів із більшим середньоквадратичним відхиленням (СКВ) значення ВСШ спостерігаються більші СКВ оцінок частотних параметрів. ВСШ у каналі на коротких інтервалах часу змінюється, в основному, через зміну потужності сигналу, що може свідчити про амплітудну модуляцію або наявність глибоких завмирань у каналі поширення.

Для апробації розробленого підходу було використано контейнер для даних DataFrame Multi Index пакету Pandas мови програмування Python. Дана структура забезпечує багаторівневу індексацію, гнучкий доступ до даних та широкий набір інструментів для їх оброблення та модифікації, включаючи

додавання записів (стовпців) з новими ключами, що утворені в результаті оброблення наявних даних [3].

На рис. 2а наведено таблицю Pandas DataFrame із оцінками значень параметрів сигналів, а на рис. 2б дану таблицю після фільтрації за шириною смуги каналу Δf відповідно до такої умови: $250 \text{ кГц} < \Delta f < 500 \text{ кГц}$. Як бачимо з даної таблиці, асоціативні зв'язки між номером каналу та рештою параметрів зберігаються. Аналогічно можна реалізувати фільтрацію рядків таблиці за будь-якими параметрами, що містяться в заголовках стовпців.

channel_new	f_0, MHz	BW, kHz	T, ms	occup, %	SNR, dB	channel_new	f_0, MHz	BW, kHz	T, ms	occup, %	SNR, dB
0	933.292	247.4	0.55	26.0	5.7	1	933.776	426.3	0.56	47.0	5.8
1	933.776	426.3	0.56	47.0	5.8	4	939.693	335.2	0.52	100.0	22.8
2	936.586	4657.2	0.00	100.0	13.0	6	941.153	376.4	0.31	30.0	2.5
3	939.296	239.4	0.55	94.0	10.7	10	943.819	410.4	0.56	95.0	10.5
4	939.693	335.2	0.52	100.0	22.8	11	944.489	271.9	0.56	24.0	10.5
5	940.280	219.0	0.24	89.0	12.4	13	948.307	326.2	0.56	10.0	6.7
6	941.153	376.4	0.31	30.0	2.5	14	948.896	263.0	0.55	97.0	17.1
7	942.150	615.0	0.55	85.0	4.7	15	949.493	341.0	0.56	98.0	25.7
8	942.571	1671.2	0.00	100.0	12.4	16	950.080	319.1	0.57	28.0	18.8
9	942.926	526.8	0.56	98.0	17.2	19	951.667	313.6	0.29	90.0	13.4
10	943.819	410.4	0.56	95.0	10.5	20	952.106	267.5	0.56	66.0	9.0
11	944.489	271.9	0.56	24.0	10.5						
12	946.707	2832.0	0.00	100.0	11.7						
13	948.307	326.2	0.56	10.0	6.7						
14	948.896	263.0	0.55	97.0	17.1						
15	949.493	341.0	0.56	98.0	25.7						
16	950.080	319.1	0.57	28.0	18.8						
17	950.699	218.9	0.55	96.0	14.0						
18	951.287	208.4	0.54	0.0	0.6						
19	951.667	313.6	0.29	90.0	13.4						
20	952.106	267.5	0.56	66.0	9.0						
21	952.695	213.3	0.17	9.0	2.2						

а)

б)

Рисунок 2 – Таблиця з оцінками значень параметрів до (а) та після фільтрації за шириною смуги каналу (б)

В таблицю (рис. 2а) можна також додавати стовпці зі значеннями інших параметрів та змінювати існуючі. Наприклад, можна додати стовпець, в якому для заданих параметрів сигналу (кожного рядка) записувати ідентифікатор конкретного РЕЗ (стандарту радіопередачі). В подальшому цю інформацію можна використовувати для ідентифікації РЕЗ.

Використання сучасних інформаційних технологій для селекції сигналів відкриває нові можливості для всебічного та вичерпного аналізу даних, отриманих в результаті аналізу РЧС. Наукова новизна запропонованого підходу полягає у формуванні та обробленні асоціативних масивів із оцінок значень зовнішніх параметрів сигналів. Такий підхід забезпечить гнучку селекцію сигналів у панорамних системах радіомоніторингу. Розроблений алгоритм може бути використаний в існуючих та перспективних системах радіомоніторингу для ідентифікації РЕЗ та формування баз даних.

Література

1. Elmasry F. G. Dynamic Spectrum Access Decisions. Local, Distributed, Centralized, and Hybrid Designs. JohnWiley & Sons Ltd., 2021. 728 p.
2. Handbook spectrum monitoring. ITU Radiocommunication Bureau 2011. 678 p.
3. VanderPlas J. Python Data Science Handbook. Essential Tools for Working with Data. O'Reilly Media, 2017. 647 p.