

## ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ В БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ РАДІОЛОКАТОРАХ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Розглянуто принципи побудови систем обробки сигналів для сучасних багатофункціональних радіолокаторів. Узагальнено досвід роботи авторів протягом останніх десятиліть в області цифрової обробки радіолокаційних сигналів.*

**Ключові слова:** цифрова обробка сигналів, радіоканал, тракт підсилення.

### **Abstract**

*The principles of construction of signal processing systems for modern multifunctional radars are considered. The author's experience over the past decades in the field of digital processing of radar signals is generalized.*

**Keywords:** digital signal processing, radio channel, gain path.

### **Вступ**

Цифрова обробка сигналів (ЦОС) характеризується найбільш швидким розвитком, що забезпечує загальний прогрес радіолокації в останні десятиліття. Розглянуто питання використання ЦОС в багатофункціональних радіолокаторах (БФР) наземного базування при вирішенні радіолокаційних завдань. Перехід до багатофункціональних РЛС диктує підвищені вимоги до багаторежимності і універсальності задіяних пристроїв обробки сигналів. У подібних РЛС блок обробки сигналів (БОС) забезпечує прийом і обробку в реальному масштабі часу різноманітних радіолокаційних сигналів для виявлення і супроводу великої кількості цілей, а також забезпечення зв'язку з численними рухомими об'єктами.

Згідно опис загальних принципів розробки пристрою і міркування щодо реалізації аналогової попередньої обробки. Розглянуто алгоритми цифрової обробки радіолокаційних сигналів, та питання побудови програмованого процесора сигналів. Існують два основних альтернативні способи побудови пристроїв обробки сигналів, заснованих на переважному використанні: аналогової техніки; цифрових методів обробки. Тенденція розвитку техніки обробки сигналів протягом останніх десятиліть полягає в поступовому переході від аналогових методів до цифрових.

Відповідно до зазначеної тенденції розглянемо пристрій обробки сигналів на основі програмованого процесора обробки сигналів. Такий підхід дає безсумнівні системні переваги в порівнянні з аналоговим варіантом:

- стабільність характеристик у всьому діапазоні умов експлуатації;
- можливість адаптації до постійно змінюваних умов роботи;
- модернізація пристрою за рахунок модифікації програмного забезпечення без зміни апаратної частини;
- зниження маси, габаритів, і, як наслідок, істотне підвищення надійності;
- простота настройки обладнання;
- зниження ціни в порівнянні з аналоговим варіантом за рахунок більшої технологічності і невисокої ціни компонентів при масовому виробництві.

Ключовим питанням для забезпечення високих характеристик пристрою обробки сигналів є вибір елементної бази. Тут можливі два підходи. При першому з них використовуються серійно вироблені і добре зарекомендовані компоненти. При цьому знімаються проблеми освоєння нових елементів, що дозволяє прискорити процес розробки апаратури. Однак найкращі можливі характеристики пристрою можуть бути отримані при використанні новітньої елементної бази. Такий підхід є більш прогресивним, хоча і більш трудомістким.

Актуальність полягає в тому, що процес розробки системи є досить тривалим, і необхідно забезпечити передовий рівень техніки на багато років вперед. У зв'язку з цим у наведених нижче прикладах використовуються новітні компоненти, наявні на світовому ринку. Це відноситься, в першу чергу, до процесорів цифрової обробки сигналів і аналого-цифрових перетворювачів, технологія виробництва яких прогресує дуже швидко.

### Основна частина

На рисунку 1 відображено призначення БОС в приймальному тракті БФР. Вхідні сигнали, проходять антенний і високочастотний приймальні пристрої, в яких виконується просторова селекція, підсилення і зниження носійної частоти сигналу до зручних величин для подальшої обробки. Число ліній на виході цих пристроїв відповідає кількості вихідних каналів антеної системи (зазвичай 3..4). На рисунку 1 для прикладу показані лише три канали, що відповідають сумарному і двом різницеvim каналам моноімпульсного радіолокатора. Також можна вважати, що антена являє собою двовимірну фазовану антенну решітку, що дозволяє при кожному зондуванні направляти промінь в необхідну точку простору. БОС реалізує всі операції для частотно-часової обробки сигналу, які можна реалізувати в одному зондуванні. Такими операціями є: оптимальна багатоканальна частотно-часова фільтрація сигналів; попереднє виявлення корисних сигналів за результатами одного зондування; вимір координат, відповідних виявленим корисним сигналам; обчислення сигналів помилок по кутовим координатам, дальності і швидкості для досліджуваних об'єктів.



Рисунок 1 – Блок схема тракту обробки сигналів

Результати обробки передаються в обчислювальний комплекс БФР, який забезпечує зав'язку трас, супровід об'єктів та керування всіма пристроями БФР. Зворотній зв'язок на схемі забезпечує передавання команд керування на всі пристрої, перед кожним зондуванням.

Слід зазначити характерну гнучкість програмованого пристрою обробки сигналів. Будь-який БФР є надзвичайно складною системою, що вимагає великого обсягу комплексних випробувань на заключному етапі розробки. При цьому важливо забезпечити на стадії випробувань можливість зміни прийнятих раніше рішень.

Програмована апаратура в повній мірі відповідає цим вимогам, так як дозволяє вводити зміни шляхом модифікації програмного забезпечення без доопрацювання апаратної частини пристрою. Це відкриває також широкі можливості для модернізації БФР в процесі експлуатації і значно продовжує життєвий цикл системи.

Пристрій обробки сигналів на основі програмованого процесора складається з двох взаємопов'язаних частин (рис. 2) пристрою підсилення і перетворення сигналів і, власне, програмованого процесору обробки сигналів (ПОС) [1].



Рисунок 2 – Основні складові частини ПОС

Основними функціями першого блоку є: кероване підсилення; формування смуги сигналів, що обробляються в цифровому вигляді; аналого-цифрове перетворення сигналів.

Незважаючи на те, що вся основна обробка сигналів проводиться в процесорі, перший функціональний вузол, визначає багато важливих характеристики пристрою в цілому, такі як чутливість, динамічний діапазон, максимальна смуга частот оброблюваних сигналів. Більш того, на сьогоднішньому рівні розвитку техніки саме ця частина обладнання обмежує гранично досяжні характеристики БОС. З

іншого боку, якість аналого-цифрового перетворення створює серйозний вплив на алгоритми подальшої цифрової обробки. Тому ці два блоки доцільно проектувати разом, оптимізуючи характеристики всього пристрою в цілому.

Наступний важливий принцип розробки базується на багатофункціональності БФР. Різноманіття завдань, які виконуються БФР, вимагає використання широкого набору зондуючих сигналів. Звідси випливає вимога забезпечення можливості обробки довільних зондуючих сигналів, в тому числі і нових сигналів, що вводяться на етапі випробувань.

Програмований цифровий пристрій легко відповідає цій вимозі, оскільки введення нового зондуючого сигналу вимагає лише додавання відповідної підпрограми його обробки. Приведено приклади обробки набору типових сигналів, наведених в табл. 1, зокрема імпульси з лінійною частотною модуляцією ЛЧМ1 і фазокодовою маніпуляцією ФКМ1, а також квазінеперервний сигнал КН1 (пачка імпульсів) з високою частотою повторення. Детальне дослідження властивостей цих сигналів виконано в [2].

Таблиця 1 Типові сигнали

| Сигнал | Тривалість періоду зондування, мкс | Тривалість імпульсу, мкс | Частота повторення імпульсів, кГц | Смуга сигналів, МГц | Типове використання                      |
|--------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------|--|
| ЛЧМ1   | 1000                               | 50                       | -                                 | 2                   | Огляд при великому куті місця            |
| ФКМ1   | 1000                               | 50                       | -                                 | 2                   | Супровід при великому куті місця         |
| КН1    | 4000                               | 0.5                      | 100                               | 2                   | Огляд і супровід при великому куті місця |

Подібні сигнали до КН1, викликають найбільші труднощі при обробці. Це обумовлено малим періодом повторення імпульсів (в даному випадку 10 мкс), що не дозволяє виконувати тривале перестроювання приймального тракту. При цьому прийом слабких сигналів доводиться вести на тлі потужних відбиттів від навколишніх місцевих предметів і / або гідрометеорів, амплітуда яких може перевищувати на 80 ... 100 дБ над чутливістю. Тому БФР, що використовує подібні сигнали, пред'являє виключно високі вимоги до характеристик БОС.

З різноманіття зондуючих сигналів випливає ще один важливий принцип: забезпечення безінерційного перемикання режимів роботи пристрою, зондуючих сигналів, тривалості періодів зондування та інших параметрів без спеціальних витрат часу на перемикання. Ця вимога реалізується шляхом організації спеціальних конвеєрів по обробці сигналів і по керуванню пристроєм обробки, що забезпечує оптимальне використання наявного потенціалу радіолокатора.

На рисунку 3 відображено типову часову діаграму роботи БФР при виконанні умови оптимального використання РЛС. Різні такти зондування безперервно слідують один за одним. При цьому фазована антенна решітка забезпечує в кожному такті установку променя в потрібному напрямку з кутами Е,В. На рисунку 3, для прикладу, перший такт забезпечує огляд простору при великому куті місця за допомогою сигналу з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ-сигнал), другий такт реалізує супровід цілі за допомогою фазокодоманіпульованного сигналу (ФКМ-сигнал), третій – огляд при низькому куті місця за допомогою квазі-безперервного сигналу, або пачки імпульсів (КН-сигнал)[3].



Рисунок 3 – Часова діаграма роботи БФР

Тривалість тактів, як і інші параметри, може мати відчутні відмінності і визначається фізикою роботи радіолокатора без виділення спеціального часу на режим відновлення сигналу синхронізації. Істотно відрізняються також завдання БОС в різних тактах зондування. Команди на виконання заданого режиму надходять від обчислювального комплексу до початку цього такту.

Підготовка до за даного режиму проводиться під час попереднього зондування. На нижній діаграмі (рис. 3) більш детально показаний другий такт роботи, що містить установку променя фазованої антеної решітки, компенсацію перешкод, випромінювання ФКМ-імпульсу і прийом відбитого сигналу [4].

### Висновки

Важливим параметром пристрою обробки сигналів є також час затримки отримання результатів обробки після прийому сигналу. Навіть при фіксованій продуктивності ПОС ця затримка може істотно залежати від архітектури пристрою і способу організації обчислень. Тим часом, для успішного виконання ряду радіолокаційних задач час затримки має бути мінімально можливим. Це дозволяє зменшити час реакції системи на зміну навколишнього оточення. Зокрема, підвищити темп звернення до супроводжуваної цілі для забезпечення сталого супроводу високошвидкісних маневруючих цілей. Тому при розробці ПОС доцільно дотримуватися принципу мінімізації затримки, хоча це ускладнює реалізацію телекомунікаційного обладнання.

Перераховані принципи розробки не претендують на безперечність і є досить простими, проте вони дають основні правила, для розгляду різних варіантів побудови пристрою.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Авдеев Н. И., Зайцев Г. В., Стешенко Я. А., Цыпин И. Б. Устройство преобразования сигналов ногофункционального радиолокатора // Весник ВКО. 2014. № 4.
2. Доброжанский А. П., Зазулина А. Б., Зайцев Г. В. Процессор обробки сигаилов многофункционального радиолокатора // Вестник ВКО. 2014. № 4.
3. Зайцев Г. В. Класс весовых функций для спектрального анализа с высокой скоростью спада лепестков спектра и минимальным уровнем максимального бокового лепестка // Радиотехника. 2012. №1.
4. Цифровая обработка сигналов в многофункциональных радиолокаторах. Методы. Алгоритмы. Аппаратура. Коллективная монография / Под. Ред. Г. В. Зайцева. – М. : Радиотехника, 2015.

**Васильківський Микола Володимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

**Мельничук Ольга Іванівна** – студент групи ТКС-18м, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: tkp14b.melnychuk@gmail.com

**Полуденко Ольга Сергіївна** — студент групи АРЗ-17мі, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rtt13b.poludenko@gmail.com

**Vasykivskyi Mikola V.** – Ph.D., Senior lecturer of the Chair of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com.

**Melnychuk Olga I.** – student group TKS-18m, Faculty of Informatics, Radioelectronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tkp14b.melnychuk@gmail.com

**Poludenko Olha S.** — Department of Infocommunication, Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rtt13b.poludenko@gmail.com