

ВИЯВЛЕННЯ МАЛОВИСОТНИХ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ ЗАСОБАМИ РАДІОЛОКАЦІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

Товстенко Л.М., Косовець М.А., Товстенко О.А.

Щоб захистити рухомі об'єкти від повітряних цілей різного типу потрібно спочатку їх виявити засобами радіолокації, ідентифікувати та провести класифікацію на достатній відстані, щоб мати змогу відреагувати на їх появу. Завдяки комплексній розподіленій системі, штучному інтелекту, глибокій інтеграції радарних датчиків та автономному захопленню дронів радарні системи контролюють та захищають об'єкти, інфраструктуру міста та регіонів України.

Радари в оперативному відношенні повинні бути унікальними. Різні робочі частоти, засоби передачі та прийому радарних сигналів, модуляція, сигнальна обробка, особливості застосування штучного інтелекту, розміри, потужності передавача, системні архітектури та режими роботи створюють з урахуванням конкретних вимог та обмежень на використання.

Генерація та передача електромагнітної хвилі можуть бути обмежені короткими імпульсами або безперервно передаватися, що логічно їх називають імпульсними або безперервними радіолокаційними системами CW. Імпульсні радіолокаційні системи давно і надійно зарекомендували себе в оборонному застосуванні, багато сучасних систем використовують безперервні CW (особливо з частотною модуляцією – FMCW).

Інша ключова ознака радарів пов'язана з антеною, яка передає та приймає електромагнітні хвилі, та типом цієї антени. Є механічні антени, які необхідно фізично наводити, є стаціонарні всеспрямовані антени, які не надають інформації про напрямок. Також існують антени з електронним управлінням (ESA, так звані фазові решітки), які управляють електромагнітною хвилею при передачі та прийомі вузьконаправленими «променями», що збільшує дальність виявлення та чутливість.

Радар з фазовою решіткою, заснований на концепції формування променя, згідно з якою фази електричних сигналів, що посиляються на антени в решітці, відповідним чином регулюються таким чином, що при просторовому об'єднанні це збільшує інтенсивність сигналу в просторі до цілі. Цей процес можна виконати за допомогою фазообертачів разом з малошумним підсилювачем (МШУ) у приймачі та з підсилювачем потужності у передавачі (рис. 1).

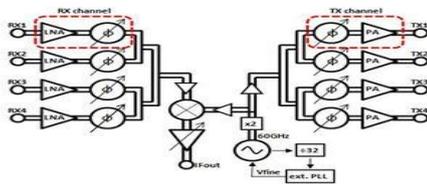
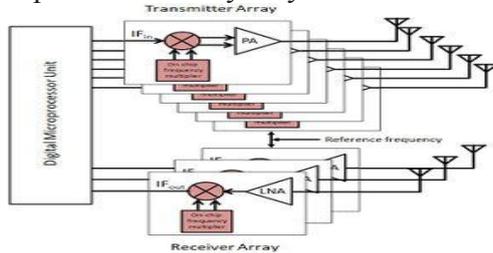


Рис.1. Радар з фазовою решіткою.

Радари МІМО (Множинний вхід і множинний вихід) аналогічні радарам з фазовою решіткою у тому сенсі, що вони обидва являють собою системи з багатьма антенами. Рис.2.

Імпульсні радари - це радарна система в часовій області якої передається потужний і короткий електричний імпульс, і на приймальній антені отримуємо

відбитий імпульс від цілі. Обробляючи сигнали між переданим та відбитим імпульсом, можна виміряти відстань до цього об'єкта. Система може розпочати вимір часу на початку переданого імпульсу і закінчити відлік часу після виявлення відбитого



сигналу.

Рис. 2. Радар МІМО.

Як показано на рис.3, блок управління імпульсами генерує імпульс прямокутної форми, при цьому формувач імпульсу використовується для перетворення форми імпульсу в форму, придатну для передачі. У приймальній частині така ж форма імпульсу потрібна як шаблон для перетворення прийнятого імпульсу зі зниженням частоти, щоб він був придатним для схеми вибірки та зберігання.

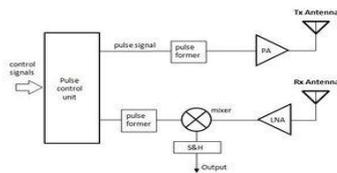


Рис.3 Схема імпульсного радара.

Радари безперервної дії, які є найпростішою формою радарів, працюють безперервно на стабільній високій частоті. Їх можна використовувати для виявлення нестационарних цілей, оскільки вимірювання відстані неможливе. Інформацію про швидкість отримуємо за допомогою ефекту Доплера, викликаного рухом між ціллю та радаром.

Радар FMCW генерує лінійно модульовані імпульси, які зазвичай використовують пилкоподібні і трикутні форми. Це можна зручно зробити, підключивши зовнішній інтерфейс радара до фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), яка може генерувати сигнал модуляції. Визначення інформації про дальність цілі може бути виконана завдяки відомій різниці частот між сигналами, що приймаються і передаються, і зсуву в часі на відміну від радарів CW. Зсув частоти визначається шляхом змішування прийнятого сигналу від цілі з сигналом, що передається.

Застосування ступінчастої зміни частоти модуляції частоти характеризується тими самими перевагами і недоліками, що і звичайної частотної маніпуляції (прямокутний закон зміни частоти). Однак в даному випадку радіолокатор працює на декількох частотах, що послідовно змінюються. На кожній із цих окремих частот вимірюється фаза ехо-сигналу. Діапазон однозначного виміру дальності значно розширюється, оскільки неоднозначність може виникнути при збігу фазових співвідношень між декількома частотами. Цей метод буде дуже цікавий, якщо на окремих частотах можна буде спостерігати резонанси, відповідні неоднорідностям відбитих від цілі. У цьому випадку такий метод виміру перетворюється на область інтерферометрії.

Радіолокатор безперервного випромінювання з частотною модуляцією (Frequency-Modulated Continuous Wave -FMCW) - які застосовує зміну робочої частоти

під час вимірювання, тобто сигнал, що випромінюється, модулюється по частоті (або фазі). Модуляція сигналу за частотою чи фазою дає можливість виконувати вимірювання тривалості інтервалів часу. Пілкоподібна модуляція використовується для відносно великих дальностей (максимальної відстані) у поєднанні з незначним впливом частоти доплерів. Трикутна модуляція дозволяє легко відокремлювати різницю частот Δf від доплерівської частоти f_D . Прямокутна модуляція (проста частотна маніпуляція) використовується для точного вимірювання відстані на близьких дистанціях шляхом порівняння фаз ехо-сигналу на двох частотах. Недоліками є неможливість відокремлення сигналів від кількох цілей та невелика однозначно вимірювана дальність. Ступінчасту модуляцію використовуємо для інтерферометричних вимірювань що забезпечує збільшення однозначності вимірюваної дальності.

Розглянуті питання в статті актуальні враховуючи нинішній стан. З'явилася потреба в недорогих антенах НВЧ-діапазону, які могли б застосовуватися як для невеликого радіусу дії від 5 метрів до 15 км. Такі антени можуть бути реалізовані у різних просторових конструкціях. Конструктивні особливості впливають на електродинамічні та загальнотехнічні характеристики, такі як вартість, габарити, масу, надійність, бойову живучість, ремонтпридатність, електромагнітну сумісність тощо. Тому завдання пошуку оптимального дизайну антени є дуже важливим. Друковані антени мають найменшу собівартість, технологія їх виготовлення найкраще відповідає технології виготовлення інтегральних активних і пасивних елементів антени, тому такі антени підходять для інтегрування з активними елементами.

У сучасних системах передачі широко використовуються скануючі антени НВЧ. Сканування дозволяє підвищити енергетичний потенціал у системах зв'язку, здійснювати огляд навколишнього простору, супровід об'єктів, що рухаються, і визначення їх кутових координат. При механічному скануванні, яке виконується обертанням усієї антени чи опромінювача, максимальна швидкість руху променя у просторі обмежена. Застосування фазованих антенних решіток з електронним скануванням дозволяє реалізувати високу швидкість огляду простору, що сприяє збільшенню обсягу інформації про розподіл джерел випромінювання або відображення електромагнітних хвиль в навколишньому просторі дозволяє збільшити швидкість обслуговування кінцевих користувачів систем передачі інформації.

Сучасні пристрої НВЧ з електрично керованими середовищами дозволяють не тільки створити керований фазовий розподіл, для електричного сканування, але і здійснити початкову обробку інформації, що надходить (підсумовування полів, перетворення частот, підсилення і т. д.) безпосередньо у фідерному тракці антени. Таким чином антени, з простих пристроїв перетворилися на найскладніші системи, мають багато випромінювачів, фазообертачів, управління якими здійснює мультипроцесор. Конструкція антен дуже складна і визначає габарити та вартість усієї радіолокаційної станції. Є можливість створення друкованих випромінювальних пристроїв, інтегрованих з плівковими сегнетоелектричними фазообертачами і виготовлених в єдиному технологічному циклі на одній підкладці, що має велике значення при створенні великих решіток НВЧ діапазону, що містять багато випромінювачів. Використання елементів, створених за новою інтегральною ідеологією, дозволяє спростити процес виробництва та значно здешевити кінцеву систему. Метод оцінки характеристик розкриття щільного випромінювача Вівальді та методика синтезу послідовних лінійок мікро полоскових друкованих випромінювачів

НВЧ діапазону на основі схемотехнічних наближень дозволяють прискорити процес проектування складних антенних решіток НВЧ діапазону.

Це розумна філософія, тому радары розробляються з урахуванням оптимального SWaP-C: досить малі габарити, щоб їх можна було носити з собою, і важать менше 7 кг, забезпечують фактичне покриття повітряного простору на 360° завдяки чудовому 3D-виявленню цілей та здатності зв'язувати декілька пристроїв для формування непроникної сітки, виконуючи виконуючи інтенсивну обчислювальну роботу всередині радара з використанням програмного забезпечення штучного інтелекту. Згорткова нейронна мережа (CNN) застосовує адаптивне машинне навчання у поєднанні з динамічним аналізом виявлення аномалій. Він дає надійну та точну класифікацію незалежно від факторів, які, як відомо, заважають роботі інших радарів, таких як наявність будівель чи суворі погодні умови. Одночасно оцінюються кілька цілей з використанням їх мікродоплерівських радіолокаційних сигнатур, характеру руху, розміру, положення та швидкості.

Про авторів:

Товстенко Лілія Миколаївна,
Провідний інженер-програміст
ORCID (0000-0002-3348-6065)
Scopus Author ID: 56439972800

Косовець Микола Андрійович,
Головний Конструктор
ORCID (0000-0002-3348-6065)
Scopus Author ID: 56439972800

Товстенко Олександр Миколайович,
Студент Технічного університету
м.Грац, Австрія

Місце роботи авторів:

Товстенко Лілія Миколаївна,
Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова
НАН України

Косовець Микола Андрійович,
Директор НВП «Квантор»
+38(066) 255-41-43,
quantor.nik@gmail.com

Товстенко Олександр Миколайович,
Студент Технічного університету
м.Грац, Австрія

**МОДЕЛЮВАННЯ РОЗЧИНУ З n ТОЧКОВИХ ДЖЕРЕЛ ДОМІШКИ
В ДВОВИМІРНОМУ ПРОСТОРИ**

Шваліковський Д. М., Шигорін П. П.

Lesya Ukrayinka Eastern European National University,
e-mail: dshvaliko@vnu.edu.ua

При розрахунках дифузії та розчинення легкої речовини у рідині часто необхідним є числовий розв'язок відповідних рівнянь (редуковані рівняння Нав'є – Стокса, або рівняння дифузії Фіка). При цьому розмір джерел домішки зазвичай набагато менший за типові розміри задачі, а сама домішка має меншу густину, ніж рідина (зокрема це виконується для розливів нафтопродуктів у воді), що обумовлює поширення розчинів лише у двох вимірах. Такі випадки доволі точно моделюються точковими джерелами речовини у нескінченній площині, а відповідна задача зводиться до числового інтегрування рівнянь другого порядку. Запроваджуючи дискретну сітку по обох координатах, алгоритм інтегрування приводиться до задачі складності $O(n^2)$. Це досить ресурсозатратна схема, для якої необхідні значні потужності.