

ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

УДК 621.396.962.38

ЄДИНЕ КООРДИНАТНО-ЧАСОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯК ОСНОВА РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОТИРІЧ СПІЛЬНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ПЕРВИННОЇ І ВТОРИННОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ

Б.В. Бакуменко, А.М. Булай, І.І. Обод
(Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба)

Показано, що розв'язання протиріч спільного функціонування систем первинної і вторинної радіолокації може бути засноване на єдиному координатно-часовому забезпеченні всіх елементів систем які розглядаються.

первинна і вторинна радіолокація, координатно-часове забезпечення

Постановка проблеми й аналіз літератури. Радіотехнічні системи спостереження (СС), утворені системами первинної радіолокації (ПРЛ) і вторинної радіолокації (ВРЛ), у значній мірі визначають рішення задач, що стоять перед Повітряними Силами (ПС). Реалізація первинного і вторинного радіолокаторів на принципі сполученої РЛС (при цьому первинний радіолокатор є ведучим) породжують певні складності при їхньому спільному функціонуванні. Ці складності обумовлені, в основному, принципом побудови систем ВРЛ, але деякі з них обумовлені жорсткою залежністю часової структури сигналів запиту вторинного радіолокатора від часової структури зондувальних сигналів первинного радіолокатора. Ця обставина не дозволяє формувати невзаємодіючі потоки [4] сигналів запиту систем ВРЛ і, як наслідок, не дозволяє захищати системи ВРЛ від внутрішньосистемних завад.

Первинний радіолокатор, як показали, останні військові конфлікти, у його традиційній побудові, перетворився з інформаційного засобу в засіб небезпеки. Дійсно, створення високоточної зброї й оцінка місця розташування об'єктів випромінювання (радіолокаторів) засобами радіорозвідки поза зоною видимості радіолокатора не залишають шансів захисту останнього від вогневого ураження. Одним з ефективних способів зниження уразливості ПРЛ до вогневого впливу є перехід від однопозиційної до ба-

гатопозиційної (БП) [1, 2], зокрема до мережної [3], побудови.

Вторинний радіолокатор, що вирішує класифікаційну задачу опізнання державної належності (ДН) виявлених цілей, побудований за принципами: несинхронної мережі; відкритих систем масового обслуговування (СМО) з відмовами. Реалізація в ньому принципу обслуговування першого, правильно прийнятого, запиту не дозволяють віднести його до завадостійких систем. Така побудова систем ВРЛ дозволяє стверджувати, що супротивник одержує від таких систем значно більше інформації у порівнянні зі стороною, що експлуатує її [4]. Крім того, сучасні системи ВРЛ не мають можливості роботи в рознесеному режимі. Ця особливість не дозволяє вирішити інформаційну задачу опізнання ДН без розміщення на приймальних пунктах (які не випромінюють) БП РЛС систем ВРЛ, тобто випромінюючих об'єктів, що приводить до демаскування приймальних пунктів БП РЛС. Таким чином, сучасна побудова первинних і вторинних радіолокаторів обумовила ряд протиріч у їхньому спільному функціонуванні.

Мета роботи – розв'язування протиріч спільного функціонування систем ПРЛ і ВРЛ у сполученому і рознесеному режимах роботи.

Основна частина. Існуюче угруповання систем ПРЛ базується на використанні одиночних РЛС, що затрудняє забезпечення прийнятої якості живучості і завадозахищеності останніх. При цьому необхідно відзначити, що всі радіолокаційні засоби утворюють несинхронну мережу, що приводить до появи несинхронних внутрішньосистемних завад. Для забезпечення електромагнітної сумісності несинхронних засобів зазвичай змінюють частотний діапазон аналогічних радіолокаційних засобів, що веде до зниження їхніх функціональних можливостей. Дійсно, у цих умовах відсутня можливість виявлення літальних апаратів на «прольоті», що є ефективним засобом виявлення літаків з малою відбивною властивістю [1].

Важливим напрямком підвищення ефективності ПРЛ є створення БП РЛС [1]. Основною перевагою таких систем є підвищення живучості і завадозахищеності в порівнянні з однопозиційними. Це обумовлено територіальним розносом передавальної і приймальних позицій. Однак, як впливає з більшості відомих робіт [1, 2], БП РЛС розглядаються як системи, що складаються з передавальної і декількох приймальних позицій, з'єднаних за допомогою лінії зв'язку з передавальною. Отже, живучість таких БП систем визначається в основному живучістю передавальної позиції. Винос передавальної позиції в глибину “своїх” території тільки трохи ускладнює її вогневе ураження. Усе це вказує на те, що при розглянутій структурі побудови БП РЛС, її живучість несуттєво відрізняється від живучості однопозиційних РЛС. Це протиріччя обумовлене асинхронністю мережі БП РЛС і, як наслідок, неможливістю реалізації як кооперативного прийому сигналів, так і управління часом та місцем

випромінювання зондувального сигналу. Перехід до мережевої побудови РЛС, що передбачає створення синхронної інформаційної мережі (СІС) [3], завдяки можливості кооперативного прийому сигналів та управління часом та місцем випромінювання зондувального сигналу, істотно розширює можливості підвищення живучості останніх.

Однак, підвищити живучість СІС, не розв'язавши проблеми одержання інформації про ДН повітряних цілей на приймальних пунктах, неможливо. Це змушує включення до складу СІС систем ВРЛ. Розташування систем ВРЛ на передавальному пункті СІС не дозволяє визначати ДН виявлених цілей на приймальних пунктах СІС. Розташування ж системи ВРЛ на приймальному пункті СІС цілком демаскує приймальний пункт СІС, що усуває основну перевагу рознесеного прийому сигналів. Це вказує на протиріччя забезпечення живучості рознесених систем первинної локації при їхньому спільному функціонуванні із системами ВРЛ. Це протиріччя обумовлене принципом побудови систем ВРЛ.

Існуючі системи ВРЛ, побудовані на вищевказаних принципах, дозволяють супротивникові, як подавляти останні, так і несанкціоновано їх використовувати. Це протиріччя, в основному, обумовлено принципом побудови мережі систем ВРЛ.

Побудова існуючого угруповання систем ВРЛ на несинхронному рівні значно обмежує можливості обробки сигналів запиту, що надходять, у літаковому відповідачі (ЛВ). Дійсно, принцип роботи ЛВ заснований на обслуговуванні першого СЗ що надійшов, це природно приводить до істотного обмеження пропускну здатності і завадостійкості.

Вищевикладені протиріччя роздільного і спільного функціонування СС показані на рис. 1. Як показано вище, зазначені протиріччя обумовлені принципами побудови систем первинної і вторинної локації.

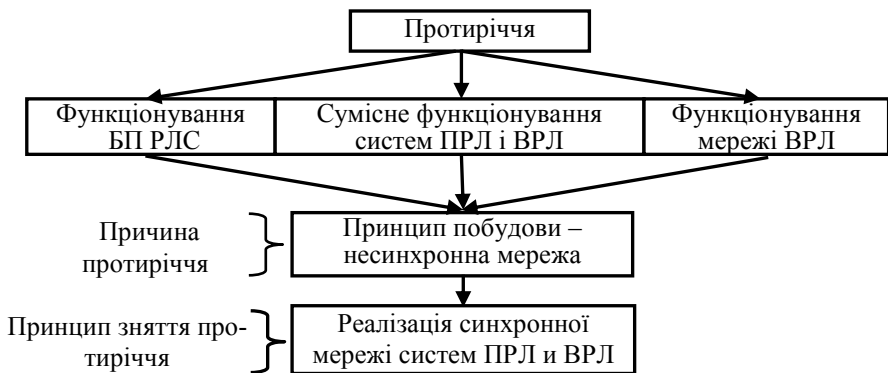


Рис. 1. Класифікація протиріч в функціонуванні ПРЛ і ВРЛ

Розглянуті технічні складнощі як роздільного, так і спільного функціонування систем ПРЛ і ВРЛ вказують на актуальність вказаних задач, а також принципову складність рішення останніх без об'єднання систем первинної і вторинної локації в СІС.

Реалізація СІС передбачає єдине координатно-часове забезпечення всіх елементів мережі, тобто створення синхронної мережі (СМ) систем ПРЛ і ВРЛ. Це дозволяє погодити процеси одержання й обробки інформації в розрізних інформаційних засобах, і визначає розв'язання технічних протиріччя, які практично не розв'язані в існуючих СС, у тому числі і дозволяє розв'язати протиріччя як роздільного, так і спільного функціонування систем первинної і вторинної радіолокації.

Створення СМ потребує створення єдиної шкали часу (ШЧ) мережі, по якій синхронізується ШЧ елементів мережі. Для цього кожен елемент мережі забезпечується високостабільним опорним генератором часу й організується система передачі сигналів синхронізації.

Точність сучасних атомних генераторів лежить у межах $10^{-14} - 10^{-15}$ і збільшується останнім часом на порядок кожні сім років. Вже в недалекому майбутньому, як видно, будуть реалізовані стандарти частоти, яким властива точність $10^{-17} - 10^{-18}$. Крім розробки точних годинників, необхідно вирішити задачу високоточної синхронізації генераторів часу, що реалізують єдину шкалу часу.

Поняття синхронізації тісно зв'язано з поняттям одночасності. Дійсно, синхронізовані ШЧ повинні одночасно виробляти однойменні часові імпульси. Саме поняття одночасності у загальній теорії відносності не є однозначним. Однак можна стверджувати, що єдиним безперечним визначенням одночасності є наступне визначення. Для аналізу будь-яких явищ можна ввести деяку чотирьохмірну систему координат (СК), що має одну часову координату (можна називати координатний час даної СК) і три просторових. Дві події, фіксовані в деякій СК значеннями (t_1, x_1, y_1, z_1) і (t_2, x_2, y_2, z_2) , вважаються одночасними щодо цієї СК, якщо відповідні їм значення часової координати збігаються: $t_1 = t_2$. Надалі таке визначення одночасності (і відповідне йому визначення синхронізації ШЧ) будемо називати координатним. Зазначене визначення дозволяє у рамках загальної теорії відносності ввести єдину самоузгоджену ШЧ у будь-яких областях простору-часу і з будь-якою розумною точністю. Той факт, що вибір СК, за координатним часом якої виробляється синхронізація, довільний, не повинен викликати занепокоєння: від синхронізації за координатним часом однієї СК легко перейти до синхронізації за координатним часом будь-якої іншої СК. Це твердження дуже важливе для реалізації СМ систем

первинної і вторинної локації. Дійсно, системи ВРЛ функціонують на деякому регіональному рівні, а системи первинної локації – на територіальному. Реалізація СІС систем ПРЛ на регіональному рівні ускладнить роботу останньої, за рахунок надлишкового числа розрядів кодування часу. Дійсно, для узгодження СМ систем ВРЛ і ПРЛ необхідною умовою є наявність загального джерела синхронізації, тобто джерела, за часом якого синхронізуються часові шкали СМ систем ВРЛ і ПРЛ. Відлік же часу в системах ВРЛ і ПРЛ може бути довільний, але відомий. Це дозволить узгодити надходження інформації із систем ВРЛ і ПРЛ при їхньому спільному функціонуванні.

Єдине координатно-часове забезпечення є основою для створення рознесених радіолокаційних систем первинної локації з кооперативним прийомом інформації, що дозволяє підвищити живучість систем ПРЛ, оскільки завдяки синхронності роботи пунктів вдається управляти не тільки часом вилучення зондувального сигналу, але і місцем вилучення цього сигналу. Це також є основою для реалізації спільного функціонування розосереджених систем первинної і вторинної локації, без якого неможливо зберегти основний позитивний ефект рознесених систем первинної локації – живучість. Ця обставина досягається можливістю роботи систем ВРЛ як у рознесеному режимі [4], так і інших режимах, при яких непотрібно розташовувати запитувач системи ВРЛ на приймальному пункті СІС.

Єдине координатно-часове забезпечення, як показано у [3], дозволяє реалізувати спадкоємний перехід до завадостійких систем ВРЛ, у яких включена можливість несанкціонованого використання ЛВ супротивником.

Методи забезпечення синхронізму в групі просторово рознесених опорних генераторів часу відрізняються великою різноманітністю. Однак їх можна класифікувати відповідно до використаного алгоритму синхронізації. Класифікація СМ наведена на рис. 2.



Рис. 2. Класифікація синхронних мереж

Як випливає з наведеної класифікації, СМ можуть бути реалізовані з використанням як єдиного координатно-часового (необхідна і достатня умова для систем з рухомими елементами) забезпечення, так і єдиного часового (необхідна і достатня умова для систем з нерухомими елементами) забезпечення.

Однак нами надалі буде використане поняття і плезіохронної мережі (ПМ). Дійсно, у залежності від характеру керуючих сигналів, що забезпечують синхронізацію, загальний клас мереж з передачею сигналів часу можна розбити на дві основні категорії, а саме ПМ і СМ. При цьому необхідно зазначити, що в поняття ПМ вкладається відсутність постійної передачі сигналів часу на кожний з пунктів даної системи. Оскільки нами, надалі, будуть розглядатися радіолокаційні системи первинної і вторинної локації з короткочасною просторовою когерентністю, то побудова мережі може бути і на плезіохронному рівні. У цьому випадку передбачається періодична передача синхросигналів на пункти системи.

У СМ всі опорні генератори синхронні по фазі і частоті, тоді як у ПМ такого синхронізму не вимагають. Однак у мережі зазвичай використовуються дуже стабільні опорні генератори з надзвичайно малими частотними зсувами і дрейфом. У кожному пункті ПМ є власний прецизійний опорний генератор, а керуючі сигнали для координації роботи генераторів часу постійно не передаються. При цьому на початку роботи домагаються, щоб різниця у відліку часу була дорівнює нулеві. Оскільки опорні генератори ПМ не залежні, їхні власні частоти трохи розрізняються. Ця різниця частот викликає лінійно зростаючу в часі погрішність між генераторами мережі. Накопиченню часової помилки між пунктами мережі сприяють і інші фактори, наприклад, відхід частоти і фазовий шум. У зв'язку з цим у кожному елементі синхронної мережі час визначається часовим процесом, тобто функціональною залежністю часу елемента мережі від часу мережі, який є ідеальним, а саме для i -го елемента мережі $T_i(t)$.

Часова погрішність може, у кінцевому рахунку, перевищити припустиме значення, і тоді роботу мережі приходиться припинити для приведення опорних генераторів у вихідний стан. Проміжок часу між коректуваннями залежить від якості опорних генераторів і припустимої розбіжності в часі опорних генераторів мережі. При реалізації такої мережі в системах первинної і вторинної локації періодичним сигналом синхронізації може бути сигнал просторової синхронізації, який може бути виділений при опроміненні передавальною позицією приймального пункту. Цей принцип дозволяє значно знизити вимоги до стабільності опорних генераторів.

Переваги ПМ полягають у простоті реалізації. Головний же недолік таких мереж пов'язаний з необхідністю їх частих коректувань. Необхідно зазначити, що така мережа реалізована в глобальних супутникових системах навігації GPS і ГЛОНАСС.

Така ж мережа, як нами показано вище, може бути реалізована в системах первинної і вторинної локації, тобто в ланцюзі часової і просторової синхронізації передавальний – приймальні пункти, а також у рознесеній мережі системи ВРЛ. При цьому необхідно відзначити, що сам передавальний (ведучий) пункт такої мережі повинен бути погоджений за часом зі ШЧ мережі.

Таким чином, при нами розглянутому варіанті реалізації ПМ вона може бути віднесена до частково СМ.

Висновок. Розв'язання окремих протиріч спільного функціонування систем первинної та вторинної радіолокації при сполученому і рознесеному режимах роботи можливе шляхом переходу до синхронних інформаційних мереж систем первинної і вторинної радіолокації. Концептуальними основами створення СІС повинні бути:

- єдине координатно-часове (часове) забезпечення всіх інформаційних засобів мережі з необхідними показниками якості;
- прив'язка керуючих сигналів інформаційних засобів до визначеного (відомим споживачам) значення ШЧ системи;
- розподілена обробка інформації в інформаційних засобах СІС;
- поєднання інформації систем первинної і вторинної радіолокації на координатному рівні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фарина А., Студер Ф. *Цифровая обработка радиолокационной информации. Пер. с англ.* – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
2. Черняк В.С. *Многопозиционная радиолокация.* – М.: Радио и связь, 1993. – 415 с.
3. *Теоретичні основи побудови заводозахисчених систем інформаційного моніторингу повітряного простору* / В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко. – К.: МОУ, 2004. – 271 с.
4. Обод И.И. *Помехоустойчивые системы вторичной радиолокации.* – М.: ЦИИТ, 1998. – 118 с.

Надійшла 21.04.2006

Рецензент: доктор технічних наук, доцент Г.В. Єрмаков,
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба