

# Розвиток, бойове застосування та озброєння радіотехнічних військ

УДК 355.457

Ю.О. Бабій

Національна академія Державної прикордонної служби України  
ім. Богдана Хмельницького, Хмельницький, Україна

## МЕТОД ВТОРИННОЇ ОБРОБКИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ МОНІТОРИНГУ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ НА СУХОПУТНОМУ КОРДОНІ УКРАЇНИ

*Завданням моніторингу рухомого об'єкту на сухопутному кордоні України є виявлення і розпізнавання правопорушників на фоні завад, зокрема, впливу гідрометеорів, пересування великих свійських та диких тварин, коливання рослинності під впливом вітру тощо. Основними етапами моніторингу рухомих об'єктів є первинна, вторинна і третинна обробка радіолокаційної інформації. Процеси виявлення та оцінки координат рухомого об'єкту складають сутність первинної обробки інформації, визначення траєкторії або супроводження рухомого об'єкту становлять сутність вторинної обробки, процес вторинної обробки стосовно групи рухомих об'єктів або комплексу радіолокаційних станцій покладено в основу третинної обробки радіолокаційної інформації [1]. Зазначені процеси обробки інформації є ієрархічними стосовно послідовності їх виконання, тому у даній статті здійснюється розробка алгоритму методу вторинної обробки радіолокаційної інформації при моніторингу рухомого об'єкту на сухопутному кордоні України.*

**Ключові слова:** рухомий об'єкт, правопорушник, радіолокаційна станція, сухопутний кордон.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Основними показниками, що дозволяють розрізнити правопорушника (ПП) на фоні завад при первинній обробці, є ефективна відбиваюча поверхня і швидкість пересування рухомого об'єкту (РО), дані показники характерні для доплерівських радіолокаційних станцій (РЛС) різного призначення. Особливістю оцінки ефективної відбиваючої поверхні і швидкості пересування РО РЛС сухопутного кордону України (СКУ) є те, що діапазон варіації зазначених параметрів у значній мірі перекривається для ПП і завад від великих свійських і диких тварин та від коливань рослинності. Тому, вихідні показники первинної обробки – координати РО і час їх отримання можуть відноситись і до ПП, і до завад.

Основними показниками, що дозволяють розрізнити ПП на фоні завад при вторинній обробці, є зміна координат РО у часі і просторі. Саме зміна координат, а не самі координати, суттєво можуть відрізнити ПП, як РО, що ціленаправлено перетинає СКУ. Це дозволить розпізнати ПП, виявити факти використання ПП відомого маршруту руху і появи нових. Важливим є те, що поява нових маршрутів може бути виявлена у реальному часі саме із застосуванням РЛС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Результати аналізу методів обробки інформації дозво-

ляють відзначити, що загалом для здійснення вторинної обробки радіолокаційної інформації при моніторингу РО на СКУ необхідно обробити таку інформацію, а саме: 1) апіорні дані координат можливих маршрутів руху ПП у чутливій зоні РЛС; 2) апіорні дані щодо розміщення РЛС; 3) апостеріорні дані первинної обробки радіолокаційної інформації про час і координати виявленого РО; 4) апостеріорні дані вторинної обробки радіолокаційної інформації про траєкторію пересування виявленого ПП.

Перші три види інформації враховано у моделях охоронного моніторингу кордону, які розроблено російськими науковцями [2–3]. У вітчизняних роботах перший вид інформації враховано у методиці визначення ймовірного місця перебування ПП [4], основи і розвиток вторинної обробки радіолокаційної інформації подано у [1; 5–6].

У діючій методиці допускається можливість формування графу ймовірних маршрутів руху ПП у контрольованому районі. Розподіленість геоінформаційної структури контрольованого району, суб'єктивність у визначенні координат точок, через які можливий рух ПП, вказують на досить значну наближеність істинних траєкторій можливим маршрутам руху. Поява нового невідомого маршруту руху, відхилення траєкторії руху ПП від відомих маршрутів – не дозволяє у повній мірі забезпечити ефе-

ктивні умови затримання ПП із застосуванням положень діючої методики. Важливо розпізнати маршрут руху ПП на основі виявлених особливостей зміни траєкторії ПП і завади, які покладено у розробку методу вторинної обробки радіолокаційної інформації при моніторингу РО на СКУ, що є метою статті.

## Виклад основного матеріалу дослідження

Метод *призначений* для розпізнавання пересування ПП в зоні дії РЛС при вторинній обробці радіолокаційної інформації і базується на встановлених ознаках класифікації траєкторії РО.

Початкові дані для проведення розрахунків за розробленим методом такі: час і координати виявленого РО; база даних щодо можливих маршрутів руху ПП. При розробці методу прийнято *обмеження*: вибір функції апроксимації здійснено при забезпеченні її відповідності вимогам зручності та змістовності опису траєкторії. Структура методу має такі складові: визначення показника і критерію монотонності зміни хоча б однієї із координат РО; розробка алгоритму методу вторинної обробки радіолокаційної інформації при моніторингу РО на СКУ. *Новизна методу* полягає у встановленні ознак класифікації траєкторії і відрізняється врахуванням монотонності зміни координат ПП та оцінкою параметрів траєкторії РО поліномом 1-3 степенів. Це дозволило ввести класифікацію траєкторії переміщення РО як монотонну і немонотонну, а також випадкову, квазидетерміновану, детерміновану та здійснити розпізнавання ПП на фоні завад при віднесенні його траєкторії руху до двох останніх видів та такою, що є монотонною. Моделювання процесів траєкторної обробки інформації є складною задачею. З метою створення баз даних такої обробки інформації прийнято зберігати результати моделювання для їх повторного використання. Це означає необхідність узагальнення результатів моделювання у вигляді аналітичних формул і таблиць, які забезпечують визначення координат в залежності від дій РО [7]. Початковими даними для побудови статистичної моделі вторинної обробки радіолокаційної інформації при моніторингу РО на СКУ є множина координат  $\{x_i, y_i\}$  і похибок  $\sigma_i$  у відповідні моменти часу  $t_i$  координатометрії множини точок місцеположення РО у чутливій зоні РЛС. Вихідними даними є факт виявлення ПП і його останні координати. Оцінка траєкторії є статистичною задачею, обробка даних  $\{x_i, y_i, \sigma_i, t_i\}$  здійснюється методами, які є складовою теорії вторинної обробки радіолокаційної інформації [7–10]. Також подібні завдання широко застосовуються в теорії регресійного аналізу рядів динаміки статистичних даних [11], у теорії дослідження складних систем [12], в управлінні і проектуванні, у

метрології [13], у методах, що доведені до програмної реалізації [14–15].

При вирішенні завдання моніторингу дисперсія випадкових похибок вимірювання координат буде різною, в залежності від напрямку пересування РО. Для апроксимації координат, у такому випадку, доцільно використовувати зважений метод найменших квадратів, в якому вагові коефіцієнти оберненопропорційні дисперсіям похибок  $\sigma_i$  випадкових величин [15]. Для опису траєкторії РО використаємо апробований методичний апарат вторинної обробки радіолокаційної інформації, який базується на застосуванні зваженого методу найменших квадратів [9] і є подальшим розвитком теорії вторинної обробки, що розглянута у [10; 16].

Вибір функції апроксимації процесу оцінювання траєкторії є таким, що не формалізується, так як одна і та ж крива на даній ділянці траєкторії приблизно з однаковою точністю може бути описана різними аналітичними виразами. Раціональний вибір аналітичного опису обґрунтовується лише при врахуванні переліку вимог.

Головною вимогою до математичної моделі є зручність її подальшого використання [13]. Так, у радіолокації траєкторія задається поліноміальною залежністю, що обумовлено забезпеченням універсальності опису об'єктів, від маневреності яких залежить степінь поліному [7], що дозволяє зручно адаптувати алгоритм обробки до різних типів об'єктів. Наступною вимогою є змістовність, або інтерпритуємість аналітичного опису, який розробляється. Зазвичай це досягається шляхом надання певного змісту математичній моделі [13]. Отже, як відзначається у [13], в наукових дослідженнях прийняття рішення щодо вибору моделі функції апроксимації є суб'єктивним. Для забезпечення відповідності функції апроксимації вимогам зручності та змістовності зробимо припущення: ПП цілеспрямовано перетинає кордон; у ПП відсутня інформація щодо порядку функціонування РЛС. Перше припущення ґрунтується на самій суті протиправної діяльності, як усвідомлених діяч у просторово-часовому полі. Підґрунтям для другого припущення є маскованість дії РЛС та конфіденційність інформації. Тоді, в загальному випадку, траєкторію РО, який пересується через чутливу зону, будемо класифікувати як: стохастичну (курс руху змінюється хаотично); квазидетерміновану (курс руху змінюється у певному напрямку); детерміновану (курс руху змінюється відповідно до топології можливих маршрутів руху у даній місцевості), рис. 1–3.

Характерно, що для стохастичної траєкторії не властива монотонна зміна хоча б однієї із координат, що є *класифікаційною ознакою* визначення траєкторії тварин.

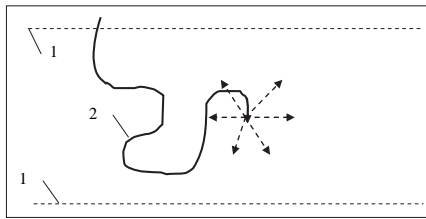


Рис. 1. Стохастична траєкторія переміщення РО:  
1 – межа зони дії РЛС; 2 – траєкторія переміщення РО

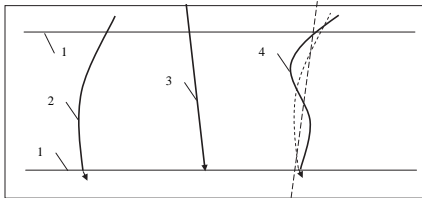


Рис. 2. Квазідетермінована траєкторія ПП:  
1 – межа зони дії РЛС; 2 – випукла траєкторія ПП;  
3 – лінійна траєкторія ПП;  
4 – випукло-вигнута траєкторія ПП

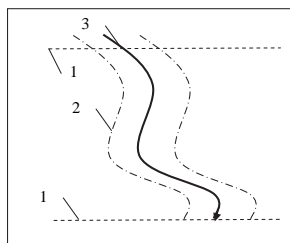


Рис. 3. Детермінована траєкторія: 1 – межа зони дії РЛС; 2 – топологія можливого маршруту руху ПП;  
3 – траєкторія руху ПП

Зробимо *допущення*, що руху тварин або коливанню рослинності характерна, в значній мірі, випадковість напрямків, не цілеспрямованість. Це дає можливість встановити *ознаку класифікації* траєкторії пересування РО як монотонність зміни хоча б однієї координати РО, що надає можливість розпізнати переміщення ПП на фоні завад. Показник монотонності зміни хоча б однієї лінійної координати РО  $M(x_i, y_i)$  сформовано на основі знакової функції:

$$M(x_i, y_i) = M(x_0, x_1, \dots, x_n, y_0, y_1, \dots, y_n) = \left( \text{sign} \left[ \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{sign}(x_i - x_{i-1}) \right| - k \right] \right) \times \left( \text{sign} \left[ \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{sign}(y_i - y_{i-1}) \right| - k \right] \right), \quad (1)$$

де  $M(x_i, y_i)$  або  $M(x_0, x_1, \dots, x_n, y_0, y_1, \dots, y_n)$  – показник монотонності зміни хоча б однієї лінійної координати РО;  $n$  – номер останньої виміряної ко-

ординати РО;  $k$  – поріг прийняття рішення щодо монотонності зміни координати ( $0 < k \leq 1$ ).

Критерієм переміщення ПП, розпізнавання його на фоні завад є рівність:

$$M(x_i, y_i) = 0.$$

Рівність істинна, якщо хоча б один з множників рівняння (1) приймає нульове значення. Якщо виконується умова  $M(x_i, y_i) = 0$ , то траєкторія руху є квазідетермінованою, яка властива рухові ПП, що дозволяє розпізнати ПП на фоні завад.

Чим більше ознак розпізнавання переміщення ПП від завади, тим ефективніше метод. Також, встановлення або віднесення до детермінованої траєкторії ПП переміщення РО потребує здійснення математичного опису траєкторії РО. Детермінована і квазідетермінована траєкторія РО, як статистичний ряд динаміки, загалом можуть описуватись поліноміальною, степеневою, показниковою, лінійною та іншими функціями [11; 13; 15]. Поліноміальна функція є універсальною, але зручність її використання обумовлена обмеженням часу, необхідного для визначення коефіцієнтів поліному, степінь якого обмежують на рівні восьмого у метрології [13], у статистиці на рівні п'ятого [15], у радіолокації на рівні другого [10], для відеоспостереження на рівні третього [17]. Процес висунення прикордонного наряду до прогнозованого місцеположення ПП триває десятки хвилин, що робить несуттєвим обмеження у часі при апроксимації координат поліноміальною функцією виду [10]:

$$R(\theta, t) = \theta_0 + \theta_1 t + \theta_2 t^2 + \dots + \theta_v t^v = \sum_{k=0}^v \theta_k t^k, \quad (2)$$

де  $\theta_0, \theta_1, \theta_2 \dots$  – коефіцієнти полінома, які мають зміст координат, швидкості, прискорення зміни координат.

В локації технічних об'єктів прийнято обмежувати клас можливих траєкторій руху, у визначеній в часі і по протяжності ділянці, поліномами 1-го та 2-го порядку. Оскільки рух тварин та людей менш інерційний, ніж рух транспорту, бездоріжжя і застосування інженерних споруд і загороджень суттєво зменшують швидкість транспорту, тоді доцільно апроксимацію координат здійснювати поліномом не вище 3-го степеня. Отже, поліноміальна функція відповідає вимозі зручності використання через можливість універсальності опису нею траєкторії як технічних, так і живих об'єктів.

Розглянемо відповідність вимозі змістовності використання поліноміальної функції апроксимації. Пряма і парабола відповідають змістовності опису траєкторії, оскільки допущення щодо ціленаправленості руху ПП враховується відсутністю точки перегину у поліноміальній кривій 1-го, 2-го степеня. Якщо траєкторія буде мати точку перегину, рис. 2,

тоді припустимо, що ПП здійснює коливально-поступальний рух вздовж лінії, яку також можна описати поліномом 1-го або 2-го степеня. За аналогією до економічних досліджень, у такому випадку, спостерігаються «сезонні» коливання координат навколо «тренду» – лінії плавної зміни [15]. Стохастичну і детерміновану траєкторію слід апроксимувати поліномом 3-го степеня, який застосовують для опису складної траєкторії об'єкта, що маневрує [17], і після співставлення із базою даних щодо можливих маршрутів руху на визначеній ділянці локації такі траєкторії або не розглядаються і приймається рішення про рух тварин, рис. 1, або детермінованість стежки, дороги, рис. 3, дозволить розпізнати ПП як РО локації. Отже, рішенням задачі опису траєкторії РО, яке задовольняє вимозі змістовності опису траєкторії, є вибір поліноміальної функції апроксимації. Причому, відповідно до зазначеного, траєкторія повинна описуватись: 1) поліномом 3-го степеня, з метою класифікації траєкторії як стохастичної або детермінованої; 2) поліномом 1-го або 2-го степеня для квазидетермінованої траєкторії.

Отже, показник степеня поліноміальної функції апроксимації координат РО є ознакою класифікації траєкторії РО, що дозволяє додатково розпізнати переміщення ПП на фоні завад.

Вирівнювання значень координат будемо здійснювати за методикою, яку розглянуто в [10]. Траєкторія РО описується векторною функцією  $R(t)$ , яка залежить від низки факторів: типу об'єкта, його маневреності, швидкості і т.п. На траєкторію РО також впливають випадкові фактори: рельєф місцевості, зміна кліматичних умов, також визначення координат здійснюється з деякою похибкою. Через дані фактори множину можливих траєкторій РО у загальному випадку доцільно розглядати як множину реалізацій деякого випадкового процесу. Але, через недостатність даних про такий випадковий процес, використовують більш прості моделі для опису траєкторій як, наприклад, детерміновані функції  $R$  з невідомими параметрами  $\theta$ , тобто квазидетерміновані моделі  $R(\theta, t)$ . Через похибки вимірювання координат, хибні відмітки координат, які викривляють траєкторію, координати будуть випадковими, а обробка носить статистичний характер. Для опису траєкторії руху, відповідно [10], будемо використовувати квазидетерміновану модель опису траєкторії  $R(\theta, t)$ , яка представляє собою детерміновану функцію  $R$  невідомих і невідпадкових параметрів  $\theta = (\theta_0, \dots, \theta_v)$  і функція часу  $t$ . Функцію  $R$  допускаємо диференційованою по всім  $\theta_k$ ,  $k = \overline{0, v}$ , і яка задається поліномом (2). Вектор невідомих параметрів  $\theta = (\theta_0, \dots, \theta_v)$  траєкторії  $R(\theta, t)$ , підлягає оці-

нюванню за результатами спостереження процесу [10]:

$$r(t) = R(\theta, t) + \varepsilon(t), \quad (3)$$

де  $r(t)$  – функція координат, яка є початковою для моделі прогнозування;  $R(\theta, t)$  – функція координат, яка є початковою для моделі прогнозування;  $\varepsilon(t)$  – похибки вимірювання координат, некорельована величина із нульовим математичним очікуванням і дисперсією  $\sigma^2$  [14].

При апроксимації функції  $r(t)$  алгебраїчним поліномом, за допомогою зваженого методу найменших квадратів, необхідно оцінити коефіцієнти  $\theta_k$  полінома, для яких відхилення розрахованих координат за моделлю  $R(\theta, t)$  від функції  $r(t)$  буде мінімальне [10; 14]:

$$F(\theta) = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 [y_i - R(\theta, t)]^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

де  $\sigma_i^2$ ,  $i = \overline{1, n}$  – дисперсія похибок вимірювання в моменти часу  $t_i$ .

Оцінки за методом найменших квадратів збігаються із оцінками максимальної правдоподібності, отже, метод при гауссівському розподілі похибок вимірювань є асимптотично оптимальним. Його використання не потребує знання закону розподілу похибок вимірювання, а оцінки будуть незміщені. Основними умовами використання методу найменших квадратів є однорідність, незалежність, стійкість статистичних даних.

Однорідність даних забезпечується процесом відбраковки хибних координат, який в радіолокації має назву «зав'язка» траєкторії. Відбраковку будемо здійснювати при допущенні, що суміжні координати можуть відстояти одна від одної на відстані, яка не перевищує значення:

$$\begin{aligned} V_{\min}(t_i - t_{i-1}) &< \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 +} \\ &+ (y_{i+1} - y_i)^2 < V_{\max}(t_i - t_{i-1}), \end{aligned} \quad (5)$$

де  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $x_{i+1}$ ,  $y_{i+1}$  – координати, які визначені у послідовні моменти часу  $t_i$ ,  $t_{i+1}$  відповідно;  $V_{\max}$ ,  $V_{\min}$  – максимально і мінімально можлива швидкість ПП.

Таку відстань у локації ще називають треком, при цьому допускають, що траєкторією руху є пряма [18]. Незалежність даних передбачає некорельованість похибок вимірювання координат, тобто кореляційна матриця похибок є діагональною [10]. Зазначене обумовлюється незначним розсіюванням значень вимірюваних координат у порівнянні із протяжністю траєкторії, тобто визначені координати є

рознесеними у просторі і часі, а, отже, незалежними. Свійкість статистичних даних полягає у тому, що при виключенні окремих значень координат оцінка траєкторії, тобто її параметрів  $\theta$  не повинна суттєво змінюватися. Оскільки похибки в точках траєкторії, що близько розташовані, мають незначні зміни, отже, при визначенні крайніх, найбільш віддалених від центру траєкторії точок не приведе до суттєвих змін параметрів  $\theta$ .

Для вирівнювання даних за методом найменших квадратів необхідно взяти часткові похідні від параметру  $\theta$  і прирівняти їх до нуля, що дозволить отримати систему рівнянь [10]:

$$\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \left[ y_i - \sum_{k=0}^v \theta_k t_i^k \right] = 0, \quad k = \overline{0, v}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Розв'язком системи рівнянь є множина оцінок параметрів  $\theta_k$  поліноміальної траєкторії. Розглянутий загальний алгоритм оцінки траєкторії є однофакторним, тобто забезпечує прогноз однієї координати. Пошук технічних рішень вирішення завдань прогнозування траєкторії із одночасним врахуванням змін за координатами  $x, y$  в декартовій системі дозволив виділити роботу, яка пов'язана із відеоспостереженням [17]. Відповідно до проведеного обґрунтування, а також положень роботи [17] та із врахуванням розглянутого загального алгоритму вирівнювання значень координат  $x_i, y_i$  будемо описувати траєкторію поліноміальною функцією 1–3-го степенів, відповідно  $v=1, v=2, v=3$ . Подано (6), провівши заміну  $\theta \rightarrow a, c; R \rightarrow x, y$  функціями апроксимації координат  $x_i, y_i$ , у вигляді полінома визначеного степеня:

$$\tilde{x}_i = \sum_{k=0}^v a_k t_i^k, \quad v = \overline{1, 3}, \quad k = \overline{0, v}, \quad (7)$$

$$\tilde{y}_i = \sum_{k=0}^v c_k t_i^k, \quad v = \overline{1, 3}, \quad k = \overline{0, v}, \quad (8)$$

де  $\tilde{x}_i, \tilde{y}_i$  – вирівняні координати;  $t_i$  – дискретні моменти часу визначення координат;  $a_k, c_k$  – параметри поліноміальної функції опису координати  $x$  та  $y$  відповідно;  $v$  – степінь поліному.

Відстань між вирівняними координатами та лінією апроксимації визначимо відповідно до формули:

$$\varepsilon_i = b_i \sqrt{(x_i - \tilde{x}_i)^2 + (y_i - \tilde{y}_i)^2}, \quad (9)$$

де  $\varepsilon_i$  – середньоквадратична похибка визначення місцеположення РО;  $b_i$  – булева змінна достовірного місцеположення ( $b_i = 1$ , якщо значення координат точки  $(x_i, y_i)$  достовірне, відповідає умові (5)).

Тоді, відповідно до (6) будемо мінімізувати функцію апроксимації за критерієм:

$$F_v(a_k, c_k) = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \varepsilon_i^2 \rightarrow \min, \quad v = \overline{1, 3}, \quad k = \overline{0, v}, \quad (10)$$

що потребує рішення системи з восьми рівнянь:

$$\frac{\partial F}{\partial a_k} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial c_k} = 0, \quad k = \overline{0, 3}. \quad (11)$$

Після отримання системи нормальних рівнянь розраховують множину оцінок параметрів  $\{\bar{a}_k, \bar{c}_k\}$ , які однозначно визначають параметричну криву траєкторії вирівняних координат місцеположення РО. Оцінки параметрів  $\{\bar{a}_k, \bar{c}_k\}$  будуть незміщені при будь-якому розподілі випадкових похибок вимірювання координат [8]. Підставимо в (7) і (8) замість невідомих параметрів  $\{a_k, c_k\}$  їх оцінки і отримаємо вирівняний динамічний ряд статистичних даних, тобто вирівняні координати  $\bar{x}_i(\bar{a}_k, t_i)$  та  $\bar{y}_i(\bar{c}_k, t_i)$ . Формула (11) відображає середньозважену похибку апроксимації і характеризує якість наближення оцінок координат  $\bar{x}_i, \bar{y}_i$  до вхідних статистичних даних координат ПП  $x_i, y_i$ . *Критерієм адекватності* оцінки параметрів траєкторії при її описі поліноміальною залежністю буде мінімальне значення із трьох функцій:

$$F_v(\bar{a}_k, \bar{c}_k) \rightarrow \min, \quad v = \overline{1, 3}, \quad k = \overline{0, v}, \quad (12)$$

де  $F_1, F_2, F_3$  – середньозважена похибка апроксимації поліномом 1-го, 2-го, 3-го степенів, відповідно.

При розгляді квазідетермінованого типу траєкторією лінії апроксимації є пряма або парабола, тому степінь  $v \leq 2$ . Алгоритм методу, при формуванні бази даних щодо детермінованих траєкторій, подано на рис. 4.

Розроблений алгоритм відображає основні етапи методу і передбачає: загальноприйнятту операцію первинної обробки радіолокаційної інформації – відбраковування хибних координат на етапі зав'язки траєкторії за ознакою притаманної швидкості руху ПП; вирівнювання координат поліномами 1–3-го степенів як ознаки для класифікації траєкторії РО; оцінку точності опису траєкторії кожним поліномом і вибір лінії апроксимації траєкторії пересування РО за розробленим критерієм; визначення монотонності зміни хоча б однієї із координат РО за розробленим критерієм; встановлення типу траєкторії за ознакою монотонності і вирівнюванням координат поліномом; видача сигналу тривоги і координат ПП або класифікація РО як завади. Розроблений алгоритм дозволяє оцінити місцеположення одиночного ПП на фоні завад від руху тварин. Для оцінки траєкторії групи ПП, виділення впливу завад можуть бути вико-

ристані моделі і науково-технічні рішення третинної обробки інформації, які розглянуті в [1].

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Розроблено метод вторинної обробки радіолокаційної інформації при моніторингу рухомих об'єктів на сухопутному кордоні України.

Новизна методу полягає у встановленні ознак класифікації траєкторії рухомого об'єкту і відрізняється врахуванням монотонності зміни координат правопорушника та оцінкою параметрів траєкторії

рухомого об'єкту поліномом 1-3 степенів на основі розроблених критеріїв монотонності траєкторії, мінімізації функції апроксимації координат об'єкту локації та адекватності оцінки параметрів траєкторії при описі її поліномом 1-3-го степеня.

Це дозволило ввести класифікацію траєкторії переміщення рухомого об'єкту як монотонну і не-монотонну, а також випадкову, квазідетерміновану, детерміновану та здійснити розпізнавання правопорушника на фоні завад при віднесенні траєкторії рухомого об'єкту до двох останніх видів та до такої, що є монотонною.

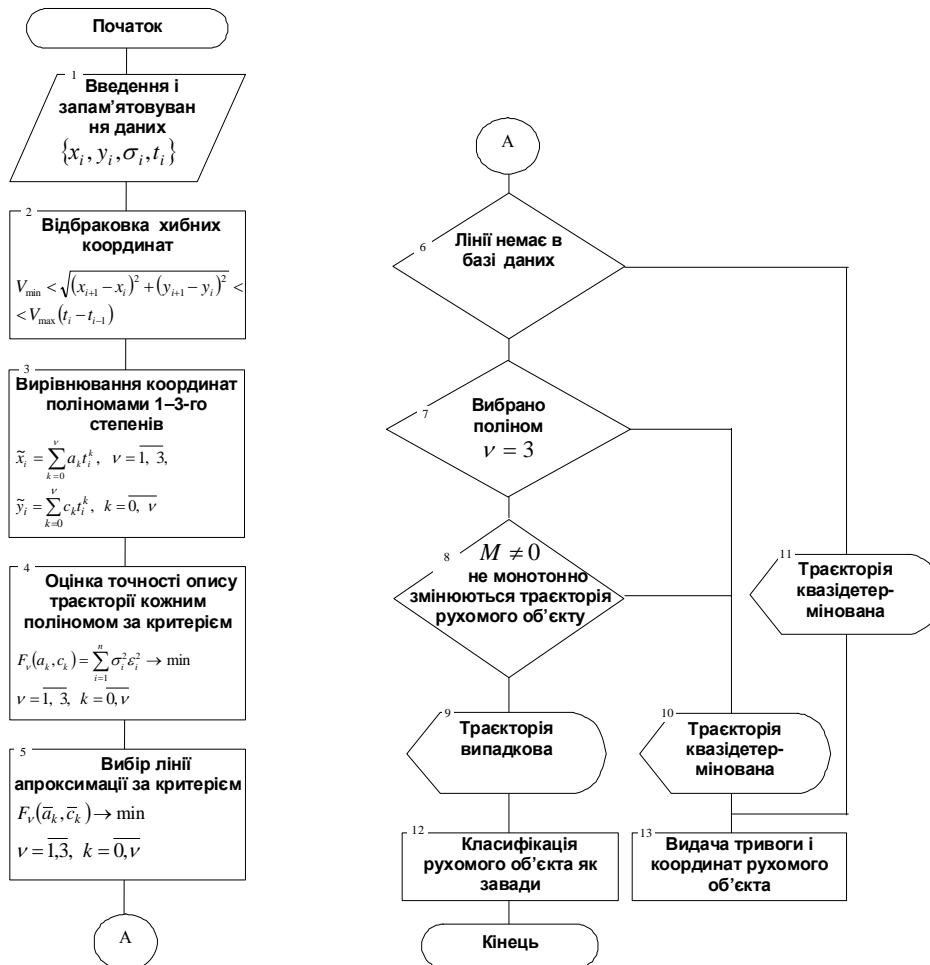


Рис. 4. Алгоритм методу вторинної обробки радіолокаційної інформації при моніторингу РО на СКУ:

$\sigma_i^2$ ,  $i = \overline{1, n}$  – дисперсія похибок вимірювання координат  $x_i$ ,  $y_i$  в моменти часу  $t_i$ ;

$\varepsilon_i$  – середньоквадратична похибка вимірювань;  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $x_{i+1}$ ,  $y_{i+1}$  – координати РО, які визначені у послідовні моменти часу  $t_i$ ,  $t_{i+1}$ , відповідно;  $V_m$  – максимально можлива швидкість РО;

$p$  – кількість визначених координат за нормований час

Обґрунтовано раціональний вибір аналітичного опису процесу оцінювання траєкторії РО поліноміальними функціями 1–3-го степенів на основі формалізації їх відповідності вимогам зручності і змістовності опису, які висуваються до математичної моделі опису траєкторії, що задається статистичними

даними. Траєкторію РО класифіковано як стохастичну, квазідетерміновану і детерміновану відповідно до встановлених ознак класифікації: а) при не монотонній зміні координат  $x_i$ ,  $y_i$  об'єкта і оцінці їх зміни поліномом 3-го степеня, що є ознаками класифікації переміщення завади, траєкторію відносять

до стохастичної або детермінованої, рух по ній є не ціленаправленим, в такому випадку, здебільшого РО є завадою; б) наступною ознакою класифікації є збіг траєкторії РО із можливим маршрутом руху ПП через чутливу зону, таку траєкторію класифікують як детерміновану, а РО приймають за ПП; в) при не віднесенні траєкторії до стохастичного або детермінованого типів, її вважають квазидетермінованою, а опис зводиться до визначення невідомих і не випадкових параметрів траєкторії. Формально ціленаправленість руху ПП виражається такою ознакою, як

відсутність точок перегину траєкторії, що дозволяє її описати поліномом 1, 2-го степеня, які принципово не мають точок перегину.

Виведено критерії монотонності траєкторії, мінімізації функції апроксимації координат об'єкту локації, а також критерій адекватності оцінки параметрів траєкторії при описі її поліномом 1–3-го степеня, використання яких дозволяє довести спроможність математичної моделі прогнозування місцеположення РО.

## Список літератури

1. Сніцаренко П.М. Теорія озброєння. Науково-технічні проблеми та завдання: монографія: Технічні засоби. Військові системи дистанційного моніторингу навколишнього простору щодо рухомих об'єктів: методологічні аспекти обґрунтування вимог / П.М. Сніцаренко, С.В. Лапицький, А.А. Гуль'яєв, О.О. Головін, А.Ю. Гупало. – К: Видавничий дім Дмитра Бураго, 2016. – 480 с.
2. Мирошниченко В.А. Геоинформационный метод представления и анализа территориальной обстановки в системе охранного мониторинга: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.35 / Мирошниченко Владимир Алексеевич. – Санкт-Петербург, 2005. – 184 с.
3. Рябец А.Я. Математико-геоинформационная модель логико-вероятностной оценки эффективности территориально-распределенной системы охранного мониторинга / А.Я. Рябец, Д.Е. Бурдюгов, А.В. Афанасенко // Радиотехника; под ред. Ю.В. Гуляева. – М.: Радиотехника, 2006. – № 4. – С. 97-106.
4. Городнов В.П. Модель визначення ймовірних маршрутів руху порушників кордону поза пунктами пропуску через державний кордон / В.П. Городнов, В.А. Кириленко, Р.Г. Каратаєв // Зб. наук. пр. Національної академії Державної прикордонної служби України; за ред. В.О. Балашова. – Хмельницький: НАДПСУ, 2008. – № 47, ч. II. – С. 11-17.
5. Гризо А.А. Удосконалення вторинної обробки радіолокаційної інформації в РЛС 19Ж6 / А.А. Гризо, І.М. Невмержицький, В.В. Монастирний // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 1 (26). – С. 78-81.
6. Ковтунов А.Л. Методы вторичной обработки радиолокационной информации в обзорных РЛС, использующих полярную систему координат с применением сверхширокополосных сигналов / А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко, З.З. Закиров, М.П. Батурицкий // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 1(34). – С. 74-78.
7. Леонов А.И. Моделирование в радиолокации / А.И. Леонов. – М.: Сов. радио, 1979. – 264 с.
8. Беляевский Л.С. Обработка и отображение радионавигационной информации / Л.С. Беляевский, В.С. Новиков, П.В. Оленюк. – М.: Радио и связь, 1990. – 232 с.
9. Гришин Ю.П. Радиотехнические системы: учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.
10. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации / Ю.Г. Сосулин. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
11. Мармоза А.Т. Практикум з теорії статистики / А.Т. Мармоза. – К.: Ельга, Ніка-Центр, 2007. – 348 с.
12. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, Я. Такахаара. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
13. Новицкий П.В. Оценка результатов измерений / П.В. Новицкий, Н.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
14. Носач В.В. Решение задач аппроксимации с помощью персонального компьютера / В.В. Носач. – М.: МИКАП, 1994. – 382 с.
15. Тюрин Ю.Н. Статистический анализ данных на компьютере / Ю.Н. Тюрин, А.А. Макаров, под ред. В.Э. Фигурнова. – М.: ИНФРА – М, 1998. – 528 с.
16. Мазора Ю.Л. Радиотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник: навч. посібник / Ю.Л. Мазора, Є.А. Мачуський, В.І. Правда. – К.: Вища шк., 1999. – 838 с.
17. Карамов С.В. Оценка параметров и прогноз движения вращающегося объекта, имеющего трохoidalную траекторию по видеоизображению [Електронний ресурс] / С.В. Карамов // International Conference Graphicon, Novosibirsk, 2016. – Режим доступу: [www. Graphicon.ru](http://www.Graphicon.ru). – Дата звернення: 17.01.2016. – Назва з екрана.
18. Звездинский С.С. Средства обнаружения и системы охранной сигнализации: учеб. пособ. для студ. высш. учеб. зав. / С.С. Звездинский, В.А. Иванов, под ред. А.В. Петракова. – М.: МТУСИ, 2008. – 260 с.

## References

1. Snitsarenko, P.M. Lapitsky, S.V., Gulyaev, A.A., Golovin O.O. and Gupalo, A.Yu. (2016), «*Teoriia ozbroiennia. Naukovo-tekhnicni problemy ta zavdannia: monohrafiia: Tekhnicni zasoby. Viiskovi systemy dystantsiinoho monitorynhu navkolyshnoho prostoru shchodo rukhomykh obiektiv: metodolohichni aspekty obgruntuvannia vymoh*» [The theory of weapons.

*Scientific and technical problems and tasks: monograph: technical means. Military systems of remote monitoring of the surrounding space in relation to moving objects: methodological aspects of substantiation of requirements*], Vidavnichij dim Dmitria Burago, Kiev, 480 p.

2. Myroshnychenko, V.A. (2005), «*Geoinformatsionnyy metod predstavleniya i analiza territorialnoy obstanovki v sisteme ohrannogo monitoringa*» [Geoinformation method of representation and analysis of the territorial situation in the security monitoring system], the dissertation of the candidate of technical sciences, Saint Petersburg, 184 p.

3. Ryabets, A.Ya., Burdugov, D.Ye. and Afanasenko, A.V. (2006), «*Matematiko-geoinformatsionnaya model logiko-veroyatnostnoy otsenki effektivnosti territorialno-raspredelelnoy sistemy ohrannogo monitoringa*» [A mathematical-geoinformation model of the logical and probabilistic evaluation of the effectiveness of a territorially-distributed security monitoring system], Radiotekhnika, Moscow, No. 4, pp. 97-106.

4. Horodnov, V.P., Kirilenko, V.A. and Karatayev, R.G. (2008), «*Model vyznachennia ymovirnykh marshrutiv rukhu porushnykiv kordonu poza punktamy propusku cherez derzhavnyi kordon*» [A model for determining possible routes for violators crossing the border outside the border crossing points], *Scientific works of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine*, No. 47, Vol. 2, Khmelnytskyi, pp. 11-17.

5. Grizo, A.A., Nevmerzchickiy, I.M. and Monastirniy, V.V. (2017), «*Udoskonalennia vtorynnoi obrobky radiolokatsiinoi informatsii v RLS 19Ж6*» [Improvement of the secondary treatment of radio-location information in 19Ж6 radar], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 1(26), pp. 78-81.

6. Kovtunov, A.L., Leshenko, S.P., Zakirov, Z.Z. and Baturinskiy, M.P. (2013), «*Metodyi vtorychnoy obrabotki radiolokatsionnoy informatsii v obzorniyh RLS, ispolzuyuschih polyarnuyu sistemu koordinat s primeneniem sverhshirokopolosnykh signalov*» [Methods of radar data reprocessing in surveillance radars using polar coordinate system using UWB signals], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 1(34), pp. 74-78.

7. Leonov, A.I. (1979), «*Modelirovaniya v radiolokatsii*» [Simulations in radar], Sov. Radio, Moscow, 264 p.

8. Belyaevskiy, L.S., Novikov, V.S. and Olenyuk, P.V. (1990), «*Obrabotka i otobrajenie radionavigatsionnoy informatsii*» [Processing and display of radionavigation information], *Radyo y svyaz*, Moscow, 232 p.

9. Grishin, Yu.P., Ipatov, V.P. and Kazarinov, Yu.M. (1990), «*Radiotekhnicheskie sistemy: ucheb. dlya vuzov po spets. «Raditehnika»*» [Radio engineering systems: Textbook. for universities on spec. "Raditehnika"], Vyschaya shkola, Moscow, 496 p.

10. Sosulin, Yu.G. (1992), «*Teoreticheskie osnovy radiolokatsii i radionavigatsii*» [Theoretical basis of radar and radio navigation], *Radyo y svyaz*, Moscow, 304 p.

11. Marmoza, A.T. (2007), «*Praktykum z teorii statystyky*» [A Practical Guide to Theoretical Statistics], Elga, Nika-Center, Kiev, 348 p.

12. Mesarovich, M., Mako, D. and Takahara, Ya. (1973), «*Teoriya ierarhicheskikh mnogourovnevnykh sistem*» [Theory of hierarchical multi-level systems], Mir, Moscow, 344 p.

13. Novitskiy, P.V. and Zograf, N.A. (1991), «*Otsenka rezultatov izmereniy*» [Evaluation of measurement results], Enerhoatomyzdat, Leningrad, 304 p.

14. Nosach, V.V. (1994), «*Reshenie zadach approksimatsii s pomoschyu personalnogo kompyutera*» [Solving the problems of approximation using a personal computer], MIKAP, Moscow, 382 p.

15. Tyurin, Yu.N. and Makarov, A.A. (1998), «*Statisticheskyy analiz dannykh na kompyutere*» [Statistical analysis of data on a computer], INFRA-M, Moscow, 528 p.

16. Mazora, Yu.L., Machuskiy, Ye.A. and Pravda, V.I. (1999), «*Radiotekhnika: Entsiklopedichniy navchalniy dovidnik: navch. posibnik*» [Radio: an encyclopedic educational directory: teaching. Manual], Vyscha shkola, Kiev, 838 p.

17. Karamov, S.V. (2016), «*Otsenka parametrov i prognoz dvizheniya vraschayushegosya obyektu imeyushego trohoidal-nuyu traektoriyu po videoizobrajeniyu*» [Estimation of parameters and forecast of motion of a rotating object having a trochoidal trajectory from a video image], *International Conference Graphicon*, Novosibirsk, [http://www. Graphicon.ru](http://www.Graphicon.ru) (accessed 17.01.2016).

18. Zvejinskiy, S.S. and Ivanov, V.A. (2008), «*Sredstva obnarujeniya i sistemy ohrannoy signalizatsii*» [Detection and alarm systems], MTUSI, Moscow, 260 p.

Надійшла до редколегії 29.05.2017

Схвалена до друку 17.08.2017

#### **Відомості про автора:**

##### **Бабій Юлія Олександрівна**

кандидат технічних наук  
доцент кафедри Національної академії Державної  
прикордонної служби України ім. Богдана  
Хмельницького, Хмельницький, Україна  
[orcid.org/0000-0001-7310-8715](http://orcid.org/0000-0001-7310-8715)  
e-mail: [julscorpio@gmail.com](mailto:julscorpio@gmail.com)

#### **Information about the author:**

##### **Babiy Yuliya**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Lecturer of National Academy of State Border Guard  
Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky,  
Khmelnytsky, Ukraine  
[orcid.org/0000-0001-7310-8715](http://orcid.org/0000-0001-7310-8715)  
e-mail: [julscorpio@gmail.com](mailto:julscorpio@gmail.com)



## МЕТОД ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА НА СУХОПУТНОЙ ГРАНИЦЕ УКРАИНЫ

Ю.А. Бабий

Задачей мониторинга подвижного объекта на сухопутной границе Украины является выявление и распознавание правонарушителя на фоне помех, в частности, влияния гидрометеоров, передвижения крупных домашних и диких животных, колебания растительности под воздействием ветра. Основными этапами мониторинга подвижного объекта является первичная, вторичная и третичная обработка радиолокационной информации. Процессы выявления и оценки координат подвижного объекта составляют сущность первичной обработки информации, определение траектории или сопровождения движущегося объекта составляют сущность вторичной обработки, процесс вторичной обработки в отношении группы подвижных объектов или комплексом радиолокационных станций положены в основу третичной обработки радиолокационной информации. Указанные процессы обработки информации являются иерархическими относительно последовательности их выполнения. В статье осуществляется разработка алгоритма метода вторичной обработки радиолокационной информации при мониторинге подвижного объекта на сухопутной границе Украины.

**Ключевые слова:** движущийся объект, правонарушитель, радиолокационная станция, сухопутная граница.

## METHOD OF SECONDARY PROCESSING OF RADIOLOGICAL INFORMATION ON MONITORING OF MOBILE OBJECT ON THE DISTRICT BORDER OF UKRAINE

Yu. Babiy

The article substantiates the relevance of the study of the monitoring of a moving object on the land border of Ukraine, namely: detection and identification of the offender against the background of obstacles.

The main indicators that make it possible to distinguish the perpetrator against the background of interferences during the initial processing is the effective reflecting surface and the speed of movement of the moving object. These figures are typical for Doppler radar stations of various purposes. The peculiarity of assessing the effective reflecting surface and the speed of movement of a moving object by the radar station of the land border of Ukraine is that the range of variation of these parameters is largely overlapping for the offender and obstacles from large domestic and wild animals and from fluctuations in vegetation. Therefore, the initial indicators of the primary processing - the coordinates of the moving object and the time of their receipt can be related to the offender and to the obstacles, therefore, it is expedient to use secondary processing of radar information based on the recognition of the offender against the backdrop of obstacles, the indicators of which are specific and dependent on the purpose of the radar station. These figures are typical of Doppler radar stations for various purposes. Therefore, the initial values of the primary processing - the coordinates of the moving object and the time of their receipt can be attributed both to the offender and to obstacles. It is therefore advisable to accept a secondary processing of radar information, whose indicators are specific and dependent on the purpose of the radar station, as the basis for identifying offenders against the background of interference.

The main indicators that make it possible to distinguish the perpetrator against the background of interruptions during the secondary processing is the change in the coordinates of the moving object in time and space. It is the change in the coordinates, and not the coordinates themselves, that can significantly distinguish the offender as a moving object, which intently crosses the land border of Ukraine. This will enable the offender to be identified, to discover the facts of using the known route of movement and the emergence of new ones. Importantly, the emergence of new routes can be detected in real time precisely with the use of radar stations. The method is intended for recognition of the offender's movement in the zone of operation of the radar station during the secondary processing of information and is based on established features of classification of the trajectory of a moving object. The method of secondary processing of radar information during the monitoring of a moving object on the land border of Ukraine has been developed. The novelty of the method is to establish the classification characteristics of the trajectory of a moving object, which differs from the attention of a uniform change in the coordinates of the offender and the parameters of estimating the trajectory of the motion of the object of polygons of 1-3 degrees on the basis of criteria developed by approaching the function of a monotone trajectory, minimizing coordinates the location of the object and the adequacy of the description of the trajectories of the polynomial parameters of the 1st to 3rd degree. You can enter the classification trajectory of moving objects as monotonous and nonmonotonic, as well as random, quasideterministic, deterministic and recognize the offender in the background noise when assigning the trajectory of a moving object to the last two species and what is monotonous. The obtained results can be used in the design of radar systems in order to assess the monitoring of a moving object on the Ukrainian land border, that is, the detection, tracking, identification and movement of the offender against the background of obstacles. In addition, using the results obtained with the help of the developed method, will allow to optimize the classification of technical means of border protection.

**Keywords:** moving object, offender, radar station, land border.