УДК 621.3

Олександр Іванович Гнатюк

МЕТОДИ ПРИВ'ЯЗКИ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДО ЕЛЕКТРОННИХ КАРТ МІСЦЕВОСТІ

Постановка проблеми

Захист кордонів, збереження територіальної цілісності, політичної та економічної незалежності є одним із найважливіших завдань збереження існування держави [1]. На теперішній час Україна перетворилася у своєрідну буферну зону між Західною Європою та країнами "третього світу", ставши чи не єдиною перепоною на шляху транснаціональної злочинної міграції, яка включає контрабандну діяльність, торгівлю наркотичними засобами, зброєю і навіть людьми. Україна стала накопичувачем нелегальних мігрантів, тому постійно ведеться вдосконалення роботи щодо запобігання та припинення незаконної міграції іноземців та осіб без громадянства в Україну і через її територію [2].

Метою статті є: розробка методів радіолокаційної прив'язки радіолокаційних станцій На даному етапі становлення Державної прикордонної служби України (ДПСУ) одним із основних завдань [3] є створення системи спостереження з використанням автоматизованих технічних засобів охорони з малопомітною площинною зоною виявлення порушників кордону. Дане завдання може вирішуватися за допомогою існуючих та перспективних радіолокаційних засобів (РЛЗ), що встановлюються на транспортних засобах та приймаються до використання підрозділами охорони кордону. Але їх комплексне застосування на даному етапі вимагає вирішення ряду задач щодо забезпечення нових характеристик РЛЗ. Такими задачами є:

1. Створення радіолокаційної карти місцевості та забезпечення можливості точної прив'язки засобів радіотехнічного спостереження до даної карти за допомогою аналізу характеристик радіолокаційних об'єктів з урахуванням динамічної зміни обстановки;
2. Представлення отриманої інформації у зручному, для оператора, вигляді, та забезпечення можливості її збереження, обробки та передачі по автоматизованій системі спостереження з урахуванням її захисту;
3. Передбачення мінімальних затрат на модернізацію існуючих РЛЗ та вдосконалення перспективних.

При проведені радіолокаційного спостереження необхідно знати місцезнаходження РЛЗ у конкретний момент часу. Для досягнення даної мети можуть бути використані різні методи та способи. Однак найбільш вірогідним є шлях визначення координат точки спостереження (прив'язки) за допомогою сформованого на виході РЛЗ радіолокаційного портрету.

У наукових джерелах розглянуто багато методів радіолокаційної прив'язки РЛЗ, але в залежності від того, як використовується інформація, що міститься у радіолокаційному портреті, можливо розрізнити:

1. прив'язку за повним зображенням;
2. прив'язку за лінійними елементами радіолокаційного портрету;
3. прив'язку за дискретними елементами радіолокаційного портрету.

Основою процесу радіолокаційної прив'язки [4] являється рішення питання про те, якому еталонному радіолокаційному портрету відповідає отриманий радіолокаційний портрет в результаті сканування місцевості. У відповідності до цього є можливість говорити що при вирішенні задачі ми маємо справу з набором класів радіолокаційних портретів, які характеризуються алфавітом класів:

$$\{A\}_Q = A_1, A_2, \ldots, A_i, \ldots, A_Q,$$

де A_i – і-й клас (елемент множини $\{A\}_Q$);

Q – загальна кількість класів, що входять в даний алфавіт.

Очевидно, що для повного статистичного описання ситуації повинна бути також задана сукупність значень ймовірностей тих чи інших класів радіолокаційних портретів:

$$\{P(A)\} = \{P(A_1), P(A_2), \ldots P(A_i), \ldots P(A_Q)\}.$$

Процес радіолокаційної прив'язки складається з порівняння еталонного та отриманого радіолокаційних портретів, прийняття рішення про розпізнавання (прив'язку) та завершується визначенням координат РЛЗ. Сам процес радіолокаційної прив'язки зображено на рис.1

У самому загальному випадку опису класів радіолокаційних портретів (що представлено еталонами) та опис самих радіолокаційних портретів, що підлягають розпізнаванню, носить випадковий характер [5]. В силу цього, а також з

урахуванням впливу перешкод та можливих викривлень еталонного та отриманого радіолокаційних портретів та сам процес прийняття рішення про те, що представлений радіолокаційний портрет $q_j = \{B_{kl}\}_N$ відноситься до класу A_i, тобто являється радіолокаційним портретом і-го району, носить статистичний характер.

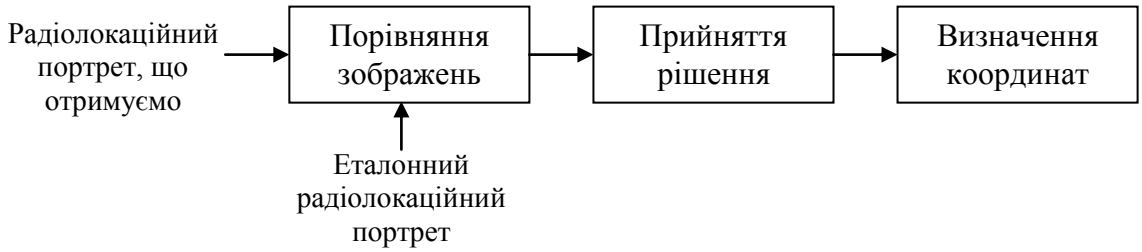

Рис.1. Процес радіолокаційної прив'язки

Розглянувши представлений радіолокаційний портрет,необхідно здійснити перевірку статистичних гіпотез про відношення даного радіолокаційного портрету до того чи іншого класу A_i або кадру q_{ij}.

Особливу увагу з точки зору прив'язки представляє випадок, коли кількість градацій становить M=2, тобто маємо справу з бінарними радіолокаційними портретами [6]. Це пояснюється тим, що звичайна кількість градацій M у реальних радіолокаційних портретах невелика. У системах, які використовуються для вирішення навігаційних задач та задач радіолокаційної прив'язки, досить часто знаходять застосування двухтонові (M=2) та трьохтонові (M=3) радіолокаційні портрети. З досвіду застосування РЛЗ для спостереження місцевості, інформації, яку дають такі радіолокаційні портрети, є достатньо для визначення місцезнаходження цих РЛЗ з достатньою точністю та надійністю.

У випадку бінарних радіолокаційних портретів можливо вважати, що для водної поверхні сигнальна функція радіолокаційних портретів дорівнюватиме:

$$\left.\begin{aligned} A_k &= 0 \\ B_k. &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

а для контрастних, в радіолокаційному відношенні, орієнтирів

$$\left.\begin{aligned} A_k &= 1 \\ B_k. &= 1 \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Для кожного елементу зображень сигнальна функція, що розглядається, прийме значення рівне нулю або одиниці. При цьому можна рахувати, що через поріг квантування проходять тільки сигнали достатньо контрастних об'єктів – орієнтирів. Дані орієнтири будуть давати одиничні сигнали A_k та B_k, а фон після квантування дає нулеві сигнали.

Сукупність елементів з мулевими та одиничними сигналами утворюють область радіолокаційного зображення Ω_i. Аналіз радіолокаційних зображень та географічних карт дозволяє зробити ряд припущень відповідно властивостей даної області Ω_i:

1. Орієнтири (елементи з сигнальною функцією рівною одиниці) в області зображення розташовуються випадковим чином.
2. Орієнтири в області зображення представляють собою пуассоновський потік, що має властивості стаціонарності, ординарності без наслідків.

Стаціонарність потоку означає, що ймовірність появи орієнтиру в деякій області $\omega < \Omega_i$ залежить тільки від величини ω та не залежить від її положення в області зображення Ω_i (рис.2).

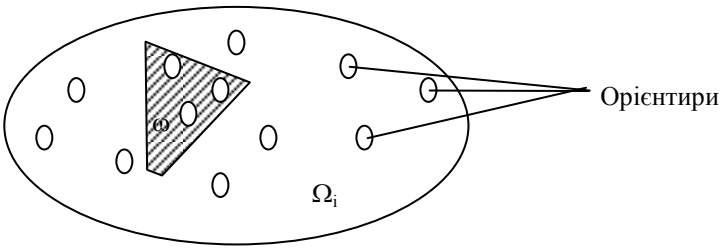

Рис.2. Стаціонарність потоку

Для з'ясування закономірності формування сигналу S, починаючи з випадку, коли на радіолокаційний канал не впливають завади, що закривають частину зображення. Нехай представлені області зображення Ω_i та область Ω_e (рис.3.). Параметри пуассонівського розподілу для даних областей $\lambda_i = \lambda_e = \lambda$. Для однозначності можливо рахувати, що $\Omega_i > \Omega_e$. при цьому частина області зображення Ω_i, на яке у даний момент часу накладається еталон, позначимо через ω.

Рис.3. Області зображення та область еталону

Пересовуючи еталонне зображення Ω_e, можливо досягти того, що воно в плоскості зображення Ω_i співпаде з певною областю ω_0, яка відповідає еталону. При ідеальній відповідності зображень ω_0 та Ω_e сигнал порівняння буде мати вигляд:

$$S = S(h_1) = \{A\}_{\Omega_e} \oplus \{B\}_{\omega_0} = 0, \qquad (3)$$

де h_1 - справедлива гіпотеза співпадання отриманого та еталонного зображень.

Розглянемо випадок коли еталонне зображення Ω_e змістилося відповідно області ω_0 на відстань, що перевищує інтервал кореляції, та вияснимо яким буде сигнал кореляції.

Нехай у області еталону Ω_e міститься z орієнтирів, а в області що співпадає з ним частині ω області зображення Ω_i знаходиться γ орієнтирів. У даному випадку є можливість вважати, що має місце ρ співпадань орієнтирів еталону Ω_e та зображення ω. Сигнал порівняння та математичне сподівання даного сигналу буде мати наступний вигляд:

$$S = S(h_0) = \{A\}_{\Omega_e} \oplus \{B\}_{\omega} = z + \gamma - 2\rho, \qquad (4)$$

$$\overline{S(h_0)} = 2N(\lambda - p) \qquad (5)$$

де N – кількість елементів області Ω_e, що дорівнює кількості елементів області ;

p – ймовірність співпадання орієнтирів при накладанні двох елементів областей, що порівнюються.

Момент розпізнавання (області Ω_e та ω_0 співпадають) отриманого радіолокаційного зображення може з певною достовірністю фіксуватися по «мінімуму» сигналу порівняння. У зв'язку з цим представляє інтерес відносна глибина даного ймовірного «мінімуму» $\psi = S(h_0) - S(h_1)$. У випадку, що розглядається, отримаємо:

$$\psi = z + \gamma - 2\rho. \qquad (6)$$

Так як величина ψ являється випадковою то її математичне сподівання буде мати вигляд:

$$\overline{\psi} = 2N(\lambda - p). \qquad (7)$$

Розглянемо випадок коли на РЛЗ діє завада (рис.4), яка повністю закриває частину ω_n області зображення, що порівнюється з еталонним зображенням.

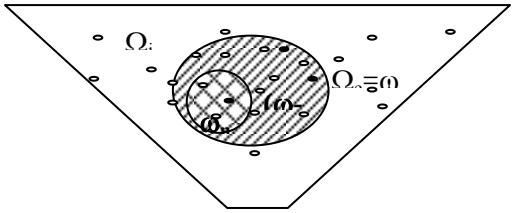

Рис.4. Області зображення та область еталону з дією області завад

Будемо вважати, що завада настільки велика по рівню, що у всіх елементах області ω_n значення сигнальної функції в площині зображення рівне одиниці.

Частина області зображення (ω - ω_n), що порівнюється, вільна від завад та у її межах діє неушкоджений розподіл сигналів орієнтирів.

Розглянемо випадок коли еталонне зображення та відповідне йому радіолокаційне зображення співпадають.

Додавання зображень «по модулю два» в області (ω - ω_n), вільної від завад, буде давати наступний сигнал порівняння:

$$S_1 = \{A\}_{(\Omega_e - \omega_n)} \oplus \{B\}_{(\omega_0 - \omega_n)} = 0, \qquad (8)$$

Для області ω_n, закритої дією завади, отримаємо наступний сигнал:

$$S_2 = \{A\}_{\omega_n} \oplus \{B\}_{\omega_n} = N_n - z_2, \qquad (9)$$

де N_n – кількість елементів зображення в області, що закрита дією завади;

z_2 – кількість орієнтирів еталонного зображення у області ω_n.

Враховуючи (8) та (9) отримаємо наступний результуючий сигнал порівняння та його математичне сподівання:

$$S = S(h_1) = S_1 + S_2 = N_n - z_2, \quad (10)$$

$$\overline{S(h_1)} = N_n(1-\lambda), \quad (11)$$

Визначимо сигнал порівняння коли присутній зсув еталонного та отриманого радіолокаційних сигналів. При цьому скористаємося наступними позначеннями величин, що характеризують формування сигналу порівняння S:

$z_1^{'}$ – кількість орієнтирів еталону в області (ω - ω_n), що вільна від дії завад;

$\gamma_1^{'}$ – кількість орієнтирів радіолокаційного зображення, що розташовані в області (ω - ω_n);

ρ_1 – кількість орієнтирів еталону та зображень, що співпадають, в області (ω - ω_n);

$z_2^{'}$ – кількість орієнтирів еталону, що приходяться на область ω_n, що закрита дією завади;

$\gamma_2^{'}$ – кількість орієнтирів зображення у межах області ω_n.

Всього у формуванні сигналу S будуть брати участь N елементів зображення. Окремо розглянемо додавання зображень в областях (ω - ω_n) та ω_n.

У області (ω - ω_n) всього N–N_n елементів. З них в ρ_1 елементах буде співпадання орієнтирів еталону та отриманого сигналу, що дає нульовий результат в кінцевий сигнал. У наступному, можливо вважати, що $(z_1^{'} - \rho_1)$ орієнтирів еталону співпадуть з елементами фону зображення, а $(\gamma_1^{'} - \rho_1)$ орієнтирів зображення співпадуть з елементами фону еталону. В сумі отримаємо наступний вклад, що буде дорівнювати $(z_1^{'} - \rho_1) + (\gamma_1^{'} - \rho_1)$. Крім того, елементи фону еталону співпадуть з елементами фону зображення, що при складанні по модулю два приведе до нульового результату.

Таким чином, область (ω – ω_n) сформує складову сигналу порівняння:

$$S_1 = (z_1^{'} - \rho_1) + (\gamma_1^{'} - \rho_1). \quad (12)$$

Вся область зображення ω_n закрита завадою. Елементи даної області при складанні з елементами фону еталону будуть давати одиничні сигнали. Виняток будуть складати тільки $z_2^{'}$ орієнтири еталону. Тому вклад області ω_n в результуючий сигнал буде складати:

$$S_2 = N - z_2^{'}. \quad (13)$$

В кінцевому результаті сигнал порівняння та його математичне сподівання в умовах зсуву зображення та еталону буде виражатися за формулами:

$$S = S(h_0) = S_1 + S_2 = z_1^{'} + \gamma_1^{'} + N_n - z_2^{'} - 2\rho_1, \quad (14)$$

$$\overline{S(h_0)} = 2(N - N_n)(\lambda - \rho)_1 + N_n(1-\lambda). \quad (15)$$

Якщо кількість елементів, що закрита завадою $N_n \to 0$, то

$$\overline{S(h_0)} \to 2N(\lambda - \rho), \quad (16)$$

тобто, формула (15) співпадає з формулою (5) для випадку, коли відсутня завада. Навпаки, коли $N_n \to N$ та завада закриває все зображення, то математичне сподівання сигналу буде наступним:

$$\overline{S(h_0)} \to N(1-\lambda), \quad (17)$$

що відповідає формулі (11), тобто при $N_n \to N$ $\overline{S(h_0)} \to \overline{S(h_1)}$.

Відносна глибина ймовірного мінімуму сигналу у даному випадку буде дорівнювати:

$$\psi = S(h_0) - S(h_1) = z_1^{'} + \gamma_1^{'} + z_2 - z_2^{'} - 2\rho_1. \quad (18)$$

Перш ніж визначити математичне сподівання відносної глибини ймовірного мінімуму сигналу порівняння ψ, розглянемо властивості деяких величин, що входять до формули (18).

Оскільки статистичні властивості еталону та зображення у даному випадку однакові, вірним буде рівність:

$$\overline{x_1^{'}} = \overline{\gamma_1^{'}} = \lambda(N - N_n) \quad (19)$$

З величинами z_2 та $z_2^{'}$ складніше.

В загальному випадку їх математичні сподівання не рівні. Пояснюється це тим, що при зсуві зображень можлива зміна зони завад ω_n.

Але у деяких важливих для практики випадках можливо вважати, що область ω_n, яка закрита завадою, не змінюється при зсуві зображення та еталону. Таке припущення має місце у двох випадках. По-перше, коли область $\omega_n < \Omega_e$ та при зміщенні зображення вона не виходить за рамки області еталону. По-друге, при $\omega_n >> \Omega_e$ в відомих умовах при зсуві еталону площа зображення, що порівнюється, закрита завадою, залишається незмінною. З урахуванням сказаного вище можливо прийняти, що при зсуві зображень величина області ω_n не змінюється і $z_2 \approx z_2^{'}$.

Тоді для математичного сподівання глибини відносного мінімуму сигналу справедливий запис:

$$\psi \cong 2(N - N_n)(\lambda - \rho). \quad (20)$$

При цьому математичне сподівання відношень $\bar{\varepsilon}$ глибин ймовірних мінімумів сигналу S при заваді та при її відсутності запишемо наступним чином:

$$\bar{\varepsilon} = 1 - \frac{N_n}{N} = 1 - \chi, \quad (21)$$

де χ - коефіцієнт маскуючої завади.

З отриманого співвідношення слідує, що по мірі збільшення частини зображення, закритої завадою, глибина мінімуму математичного сподівання сигналу порівняння зменшується, що повинно призводити до зменшення достовірності радіолокаційної прив'язки.

Таким чином, виходячи з проведених розрахунків, можливо прийти до висновку, що в процесі радіолокаційної прив'язки радіолокаційних засобів, що встановлюються на транспортних засобах будуть використовуватись дискретні радіолокаційні портрети. Кожний з радіолокаційних портретів, що порівнюється, складається з N елементів, у яких сигнальна функція приймає відповідне значення. Але дані дослідження не є завершальними. Подальшими напрямками роботи можуть бути дослідження динамічного фактору зміни обстановки на формування радіолокаційного портрету.

Література

1. **Закон про Державну** прикордонну службу України. Хмельницький.: Видавництво Національної академії ДПС України, 2003. **2. Указ президента** України про заходи щодо посилення боротьби з незаконною міграцією. N 22/2001 м. Київ, 18 січня 2001 року. **3. Концепція розвитку** Державної прикордонної служби України на період до 2015 року - Київ: Адміністрація Державної прикордонної служби України, 2005. **4. Поиск, обнаружение** и измерение параметров сигналов в радионавигационных системах. Под.ред. Ю.М. Казаринова М.: Советское радио.1975. 296 с. **5. Pat. 3512085 USA**, МКИ3 G01 R25/00. Cumulative Phase Meter Using Whole Cycle and Partial Cycle Comparison / L. Peterson Herbert, P.C. Washington, G. George – Опубл.12.05.70.– Off. Gasette, vol/ 874 – НКН 324 – 83. **6. Режим** доступу http://www.technosphera.ru/39.html

В работе рассмотрены основные методы радиолокационной привязки радиолокационных станций, которые устанавливаются на транспортных средствах, с помощью использования дискретных радиолокационных портретов.

Ключевые слова: радиолокационные средства, привязка, радиолокационный портрет.

The basic methods of radiolocation attachment of the radiolocation stations that is set on transport vehicles are in-process considered, by means of the use of discrete radiolocation portraits.

Key words: radiolocation facilities, attachment, radiolocation portrait.