

ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ІНФОРМАЦІЇ ПРО НАЯВНІСТЬ ОБ'ЄКТА, ЩО МІСТИТЬСЯ В СУКУПНОСТІ ПОЗНАЧОК НА ВИХОДІ ПРИСТРОЇВ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ

к.т.н. В.Є. Саваневич, А.В. Пугач
(подала д.ф.-м н., проф. А.О. Олександрова)

Наводиться методика визначення кількості інформації за Шенноном про наявність об'єкта, що міститься в сукупності позначок на виході пристроїв первинної обробки виявника об'єктів та аналізуються отримані за нею результати.

Вступ. Існуючі в теперішній час радіолокаційні засоби спостереження у зв'язку з ускладненням космічної обстановки не завжди спроможні вирішувати завдання, що на них покладаються. До таких завдань можна віднести виявлення малорозмірних космічних об'єктів (КО) та визначення параметрів їх траєкторій, що особливо важливо при виявленні малогабаритних космічних апаратів та фрагментів “космічного сміття”, що становлять загрозу вітчизняним КО.

Вирішення такого завдання можливе при умові модернізації існуючих або створення перспективних систем виявлення КО за рахунок синтезу ефективних систем траєкторної обробки локаційної інформації.

Вказаний синтез може відбуватись з використанням інформаційного підходу [1, 2]. Згідно з ним створення нових систем траєкторної обробки є доцільним лише у випадку, коли на їх вхід з виходу пристроїв первинної обробки (ППО) подається сукупність позначок, в якій міститься достатньо інформації про наявність об'єкта. Достатньо в смислі задоволення вимогам до показників якості рішень, які будуть прийматися синтезованою системою виявлення КО [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Якщо б вирішувалась лише задача виявлення КО, достатньою характеристикою сукупності позначок була б інформація за Кульбаком [4]. При визначенні параметрів траєкторій КО може використовуватись інформаційна матриця Фішера [4]. Але сумісне виявлення-вимірювання, що має місце, призводить до необхідності використання для характеристики потоку позначок з виходу ППО інформації за Шенноном. Тобто [5] потрібне інформметрування потоку позначок з виходу ППО. В [6] наводяться загальні методи для визначення середньої взаємної інформації між двома просторами у загаль-

ному випадку. В [7] наводиться метод визначення кількості інформації, що міститься в високоінформативних спостереженнях при низькій інтенсивності потоку хибних позначок. Метод наведено для пуассонівського потоку хибних сигналів та потоку Бернуллі корисних сигналів.

Але за вказаним методом можна визначити лише середню взаємну інформацію між наявністю об'єкта та потоком позначок I_{XY} . Для реалізації ж інформаційного підходу цього недостатньо. Необхідно [2] знати якісний склад цієї інформації, тобто часткові середні взаємні інформації I_{jY} – кількість в потоці позначок інформації про наявність об'єкта, що рухається по траєкторії з параметрами Θ_j .

Ціль і постановка завдання. Ціллю даної статті є розробка методу визначення середньої кількості інформації за Шенноном про наявність об'єкта, яка міститься в сукупності позначок на виході ППО з розрахунком вектора часткових інформацій.

Постановка завдання є наступною. Засіб спостереження СКАКО має зону огляду (ЗО), що налічує V елементарних об'ємів розрізнення (ЕОР). В пристроях первинної обробки (ППО) встановлено поріг, що забезпечує для кожного з ЕОР умовні ймовірності хибної тривоги (УЙХТ) F . Відношення сигнал/шум q завдане. Умовна ймовірність правильного виявлення (УПВ) $D = f(q, F)$ – є функцією від q та F , і ця функція відома. Одночасно в ЗО може знаходитись не більше одного об'єкта, виявлення якого проводиться протягом T оглядів.

Ап'риорна ймовірність того, що об'єкт в ЗО взагалі відсутній, дорівнює p_0 . Ап'риорна ймовірність наявності об'єкта в ЗО $p_1 = 1 - p_0$. Взагалі рух об'єкта крізь зону огляду можливий по одній з N детермінованих траєкторій, параметри яких відомі $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N)$. Кожна з траєкторій є такою, що об'єкт, який по ній рухається, протягом спостереження буде знаходитись в зоні огляду на всіх T оглядах. Ап'риорні ймовірності того, що об'єкт, який знаходиться в ЗО, має параметри руху θ_j , $j = \overline{1, N}$, завдані та дорівнюють від-

повідно $p(\theta_1), p(\theta_2), \dots, p(\theta_N)$, таким чином, що $\sum_{j=1}^N p(\theta_j) = p_1$.

У випадку, коли отримувача інформації цікавить лише відповідь на питання, чи є ціль в ЗО (реалізується "чистий" виявник), під цільовою обстановкою X , яка має місце в ЗО протягом терміну виявлення, розуміють два можливі стани:

$$X = \begin{cases} x_0, & \text{цілі в ЗО немає;} \\ x_1, & \text{ціль в ЗО є.} \end{cases}$$

Коли ж крім власне виявлення цілі необхідно визначити й параметри її руху (реалізується виявник-вимірювач), цільова обстановка X налічує $(N + 1)$ можливий стан:

$$X = \begin{cases} x_0, & \text{цілі в ЗО немає;} \\ x_1, & \text{в ЗО знаходиться ціль з параметрами } \theta_1; \\ \dots & \\ x_N, & \text{в ЗО знаходиться ціль з параметрами } \theta_N. \end{cases}$$

Загалом на виходах ППО формується сукупність позначок \bar{Y} . Її можна назвати сигнальною обстановкою, що склалася протягом виявлення. Остання налічує K позначок таким чином, що на t -му огляді отримані K_t позначок $\left(\sum_{t=1}^T K_t = K \right)$. Будь-яка позначка вказаної сукупності

Y_{it} (i -та позначка t -го огляду) містить в собі значення амплітуди A_{it} та координат y_{it} , тобто $Y_{it} = \{A_{it}, y_{it}\}$. Амплітуди та координати позначок є дискретними. Звісно, кожна з позначок може бути хибною, або сформованою за відбиттям від цілі. Але на одному огляді від об'єкта формується не більше однієї позначки. Помилки вимірювання координат вважаються незалежними, рівноточними та розподіленими за нормальним законом з нульовим математичним сподіванням. Сукупності позначок, що сформовані на різних оглядах, між собою є незалежними.

Статистики різних ЕОР можна вважати статистично незалежними один від одного як впродовж одного огляду, так і між оглядами. Крім того, реалізації амплітуд і координат хибних позначок незалежні між собою.

Необхідно визначити середню взаємну інформацію між цільовою обстановкою та потоком позначок I_{XY} , та часткові взаємні інформації I_{jY} – тобто кількість інформації про конкретний стан x_j , що міститься в потоці позначок. (Для виявника $j = \overline{0, I}$, для виявника-вимірювача $j = \overline{0, N}$).

Ймовірнісний опис сукупності позначок на виходах ППО. Умовна ймовірність сукупності позначок *при відсутності цілі* $P(\bar{Y}/0)$ є добутком на T оглядах умовних ймовірностей відповідних сукупностей на оглядах $P(\bar{Y}_t/0)$:

$$P(\bar{Y}/0) = \prod_{t=1}^T P(\bar{Y}_t/0). \quad (1)$$

В свою чергу, останні також є добутками, в яких K_t множників відповідають хибним позначкам, отриманим на огляді t , а $(V - K_t)$ – відсутності позначок (правильному невиявленню):

$$P(\bar{Y}_t/0) = (1-F)^{V-K_t} F^{K_t} \prod_{i=1}^{K_t} P(A_{it}/0) P(y_{it}/0), \quad (2)$$

де $P(A_{it}/0)$ – умовна ймовірність того, що амплітуда хибного сигналу, яка перевищила поріг ППО, буде дорівнювати A_{it} ; $P(y_{it}/0) = C$ – умовна ймовірність того, що хибна позначка матиме координати y_{it} . Таким чином,

$$P(\bar{Y}/0) = \prod_{t=1}^T F^{K_t} (1-F)^{V-K_t} C^{K_t} \prod_{i=1}^{K_t} P(A_{it}/0). \quad (3)$$

При наявності в ЗО цілі з параметрами θ на t -му огляді можливі два випадки формування сукупності позначок на виході ППО \bar{Y}_t .

В першому випадку всі K_t позначок, що сформовані на огляді, є хибними. Тобто має місце пропуск цільової позначки. Умовна ймовірність такої події складається з V множників за числом ЕОР, з яких:

- множник $(1-D)$ відповідає ймовірності пропуску цільової позначки;
- K_t множників $F \cdot C \cdot P(A_{it}/0)$ для $i = \overline{1, K_t}$ по аналогії з (3) відповідають формуванню на огляді хибних позначок з відповідними амплітудами;
- останні $(V-K_t-1)$ множників $(1-F)$ відповідають правильному невиявленню в ЕОР, де ціль відсутня.

Таким чином, вираз для умовної ймовірності формування на огляді потоку позначок у випадку, коли цільова позначка пропущена, має вигляд

$$P(\bar{Y}_t : 0/\theta) = (1-D)(1-F)^{V-K_t-1} F^{K_t} C^{K_t} \prod_{i=1}^{K_t} P(A_{it}/0). \quad (4)$$

Для $F \neq 1$ останній вираз з урахуванням (2) можна переписати наступним чином:

$$P(\bar{Y}_t : 0/\theta) = P(\bar{Y}_t/0) \cdot ((1-D)/(1-F)). \quad (5)$$

В другому випадку одна з позначок, що отримані на огляді, сформована від цілі. Інші (K_t-1) позначок є хибними. Якщо б було відомо, що цільовою є позначка $Y_{\eta t}$, то умовна ймовірність формування на t -му огляді сукупності позначок – це добуток, в якому:

– один множник $DP(A_{\eta t}/\theta)P(y_{\eta t}/\theta)$ відповідає ймовірності отримати від об'єкта позначку, що має амплітуду $A_{\eta t}$ та координати $y_{\eta t}$;

– (K_t-1) множників $F \cdot C \cdot P(A_{it}/0)$ для $i = \overline{1, K_t}$; $i \neq \eta$, як і раніше, відповідають формуванню хибних позначок;

– $(V-K_t)$ множників $(1-F)$ відповідають правильному невиявленню.

Тобто умовна ймовірність описаної вище події має вигляд

$$P(\bar{Y}_t : \eta/\theta) = DP(A_{\eta t}/\theta)P(y_{\eta t}/\theta)(1-F)^{V-K_t} F^{(K_t-1)} C^{(K_t-1)} \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq \eta}}^{K_t} P(A_{it}/\theta). \quad (6)$$

Умовну ймовірність формування на огляді сукупності позначок, в якому будь-яка позначка може бути цільовою, отримують складаючи (6) по всіх можливих $\eta = \overline{1, K_t}$. Додавши крім цього умовну ймовірність, що відповідає пропуску цільової позначки (4), отримують умовну ймовірність формування на t -му огляді сукупності позначок \bar{Y}_t при наявності цілі:

$$P(\bar{Y}_t/\theta) = (1-D)(1-F)^{V-K_t-1} F^{K_t} C^{K_t} \prod_{i=1}^{K_t} P(A_{it}/\theta) + D(1-F)^{V-K_t} F^{(K_t-1)} C^{(K_t-1)} \sum_{\eta=1}^{K_t} \left[P(A_{\eta t}/\theta) P(y_{\eta t}/\theta) \prod_{i=1, i \neq \eta}^{K_t} P(A_{it}/\theta) \right]. \quad (7)$$

Для $P(A_{it}/\theta) \neq 0$, $i = \overline{1, K_t}$; $F \neq 0$; $F \neq 1$. Останній вираз може бути приведений до вигляду

$$P(\bar{Y}_t/\theta) = P(\bar{Y}_t/\theta) \cdot \left[\frac{1-D}{1-F} + \frac{D}{F} \sum_{i=1}^{K_t} \left(\frac{P(A_{it}/\theta)}{P(A_{it}/\theta)} \cdot \frac{P(y_{it}/\theta)}{C} \right) \right]. \quad (8)$$

Імовірність формування на T оглядах всієї сукупності позначок на виході ППО у випадку наявності в 3О цілі з параметрами θ остаточно матиме вигляд

$$P(\bar{Y}/\theta) = P(\bar{Y}/\theta) \cdot \prod_{t=1}^T \left[\frac{1-D}{1-F} + \frac{D}{F} \sum_{i=1}^{K_t} \left(\frac{P(A_{it}/\theta)}{P(A_{it}/\theta)} \cdot \frac{P(y_{it}/\theta)}{C} \right) \right]. \quad (9)$$

Кількість інформації про наявність об'єкта, яка міститься в потоці позначок з виходу ППО. Вирази для часткових середніх взаємних інформацій [4] між конкретним станом цільової обстановки x_j та сигнальною обстановкою Y в зоні огляду засобу спостереження матимуть загальний вигляд:

$$I_{jY} = \sum_{m=1}^M P(\bar{Y}_m/x_j) \log \frac{P(\bar{Y}_m/x_j)}{P(\bar{Y}_m)}, \quad (10)$$

де M – загальна кількість можливих сукупностей позначок, сформованих на T оглядах;

$$P(\bar{Y}_m/x_j) = \begin{cases} P(\bar{Y}_m/0), & j = 0; \\ P(\bar{Y}_m/\theta_j), & j = \overline{1, N} \text{ для виявника – вимірювача}; \\ P(\bar{Y}_m/1), & j = I \text{ для виявника}, \end{cases}$$

$$P(\bar{Y}_m) = p_0 P(\bar{Y}_m/0) + \sum_{j=1}^N p(\theta_j) P(\bar{Y}_m/\theta_j) - \quad (11)$$

повна (безумовна) ймовірність формування сигнальної обстановки \bar{Y}_m .

Умовна ймовірність формування сигнальної обстановки \bar{Y}_m у випадку, коли ціль відсутня, $P(\bar{Y}_m/0)$ описується виразом (3). Умовна ймовірність формування сигнальної обстановки \bar{Y}_m у випадку, коли в ЗО засобу спостереження знаходиться ціль з параметрами θ_j (реалізується виявник-вимірювач) описується виразом (9). Для виявника умовна ймовірність формування сигнальної обстановки у випадку, коли є ціль (несуттєво яка саме) в ЗО, окремо не розглядалась.

З огляду на те, що гіпотеза про наявність цілі є складною та складається з N простих гіпотез, умовну ймовірність $P(\bar{Y}_m/I)$ можна визначити як суму умовних ймовірностей $P(\bar{Y}_m/\theta_j)$, зважену апіорними ймовірностями $p_I(\theta_j)$ наявності саме цілей з параметрами θ_j , коли відомо, що ціль в ЗО точно є. Такі апіорні ймовірності дорівнюють

$$p_I(\theta_j) = p(\theta_j) / \sum_{j=1}^N p(\theta_j) = p(\theta_j) / p_I, \quad (12)$$

де $p_I = 1 - p_0$ – апіорна ймовірність наявності будь-якої цілі в ЗО.

Тож для виявника умовна ймовірність формування сигнальної обстановки у випадку, коли є ціль в ЗО, описується виразом

$$P(\bar{Y}_m/I) = \sum_{j=1}^N p_I(\theta_j) P(\bar{Y}_m/\theta_j). \quad (13)$$

Вираз для загальної середньої інформації [6] про наявність об'єкта, що міститься в сукупності позначок на виході ППО, має вигляд

$$I_{XY} = \sum_{j=0}^N p(x_j) \sum_{m=1}^M P(\bar{Y}_m/x_j) \log \frac{P(\bar{Y}_m/x_j)}{P(\bar{Y}_m)} = \sum_{j=0}^N p(x_j) I_{jY}, \quad (14)$$

$$\text{де } p(x_j) = \begin{cases} p_0, & j=0; \\ p(\theta_j), & j=1, \dots, N \text{ для виявника - вимірювача;} \\ p_I, & j=I \text{ для виявника.} \end{cases}$$

З наведених виразів (10), (14) видно, що розрахунок інформаційних характеристик пов'язаний з необхідністю визначення всіх M можливих станів сукупності позначок, що майже неможливо.

Був розроблений метод визначення інформаційних характеристик шляхом імітаційного моделювання з врахуванням характеру руху об'єкта та параметрів системи виявлення. Сутність методу полягає в тому, що для обчислення j -ї часткової середньої взаємної інформації між цільовою обстановкою x_j та сукупністю позначок на виході ППО необхідно змоделювати послідовність з M^* незалежних вірогідних сигнальних обстановок \overline{Y}_m , $m = 1, M^*$; які мають закон розподілення, що визначається цільовою обстановкою x_j , для якої ця часткова середня взаємна інформація обчислюється.

Якщо моделюється відсутність цілі, в кожному з N^* експериментів необхідно змоделювати на T оглядах сукупність хибних позначок на виході ППО. Кількість хибних позначок на окремому огляді K_t для V ЕОР зони огляду є випадковою величиною (моделюється у відповідності з біноміальним законом). Амплітуда кожної з хибних позначок моделюється у відповідності з законом розподілення $P(A_{it}/0)$, а координати позначки – незалежно одна від однієї (рівномірно в межах зони огляду по кожній координаті, але відстань між двома будь-якими позначками на огляді не повинна бути менше, ніж θ_r – розмір ЕОР по відповідній координаті $r = \overline{1, R}$).

Якщо моделюється наявність цілі з конкретними параметрами θ_j , в кожному з експериментів на кожному з T оглядів хибні позначки для $(V - 1)$ моделюються, як описано вище. Додатково на кожному огляді моделюється “цільова” позначка. Ймовірність її наявності дорівнює D . Амплітуда цільової позначки моделюється у відповідності з законом розподілення $P(A_{it}/\theta_j)$, а її координати моделюються у відповідності з законом руху j -го об'єкта з урахуванням помилок виміру координат.

Для змодельованої таким чином на m -му експерименті сигнальної обстановки \overline{Y}_m за виразами (3) та (9) розраховується $(N + 1)$ значення умовних ймовірностей $P(\overline{Y}_m/x_j)$, $j = \overline{0, N}$. Використовуючи їх з урахуванням апріорних ймовірностей конкретних станів цільової обстановки $p(x_j)$, $j = \overline{0, N}$, в свою чергу, розраховується значення випадкової взаємної інформації між цільовою обстановкою x_j та отриманою на n -му експерименті сигнальною обстановкою \overline{Y}_m :

$$i_{j\overline{Y}_m} = \log \frac{P(\overline{Y}_m/x_j)}{P(\overline{Y}_m)} = \log \frac{P(\overline{Y}_m/x_j)}{p_0 P(\overline{Y}_m/0) + \sum_{j=1}^N p(\theta_j) P(\overline{Y}_m/\theta_j)} \quad (15)$$

У випадку, коли для будь-якої можливої реалізації сукупності позначок $P(\bar{Y}_m/0) \neq 0$, останній вираз прийме вигляд

$$i_{j\bar{Y}_m} = \begin{cases} \log \left(1 / \left(p_0 + \sum_{j=1}^N p(\theta_j) l_j(\bar{Y}_m) \right) \right), & j=0; \\ \log \left(l_x(\bar{Y}_m) / \left(p_0 + \sum_{j=1}^N p(\theta_j) l_j(\bar{Y}_m) \right) \right), & j \neq 0, \end{cases} \quad (16)$$

де $l_j(\bar{Y}_m) = P(\bar{Y}_m/\theta_j)/P(\bar{Y}_m/0)$ – відношення правдоподібності для траєкторії θ_j при отриманні сигнальної обстановки \bar{Y}_m .

Відношення правдоподібності $l_j(\bar{Y}_m)$, $j = \overline{1, N}$, складаються з відповідних відношень правдоподібності, що відповідають сукупностям позначок, отриманим на окремих оглядах $l_j(\bar{Y}_{mt}) = P(\bar{Y}_{mt}/\theta_j)/P(\bar{Y}_{mt}/0)$:

$$l_j(\bar{Y}_m) = \prod_{t=1}^T l_j(\bar{Y}_{mt}). \quad (17)$$

З (8) витікає, що

$$l_j(\bar{Y}_{mt}) = \frac{1-D}{1-F} + \frac{D}{F} \sum_{i=1}^{K_t} \left[\frac{P(A_{it}/\theta_j)}{P(A_{it}/0)} \cdot \frac{P(y_{it}/\theta_j)}{C} \right]. \quad (18)$$

Формування N відношень правдоподібності $l_j(\bar{Y}_{mt})$, $j = \overline{1, N}$ t -го огляду можна здійснювати рекурентно, послідовно обробляючи позначки, що отримані на огляді.

Перед початком огляду всі відношення правдоподібності слід вважати однаковими та такими, що дорівнюють $(1-D)/(1-F)$. Це відповідає відсутності на огляді позначок, які можуть бути віднесені до об'єкта θ_j .

Кожна позначка $Y_{it} = \{A_{it}, y_{it}\}$, $i = \overline{1, K_t}$ на поточному огляді t приведе до зміни відношень правдоподібності – згідно з [18] вони зростатимуть на величину

$$\Delta l_j(Y_{it}) = \frac{D}{F} \cdot \frac{P(A_{it}/\theta_j)}{P(A_{it}/0)} \cdot \frac{P(y_{it}/\theta_j)}{C}. \quad (19)$$

Перший множник вказаної величини є константою і враховує загальом факт наявності позначки Y_{it} з огляду на те, що вона може бути народжена об'єктом з параметрами θ_j . Другий множник відповідає відношенню правдоподібності для амплітуди позначки A_{it} . Цей множник буде однаковим за величиною для всіх відношень правдоподібності, що змінюються. Нарешті, третій множник відповідає відношенню правдоподіб-

ності для координат позначки y_{it} . В загальному випадку він буде різним для різних траєкторій, яким може належати позначка.

Але змінюватимуться лише ті відношення правдоподібності, що відповідають траєкторіям, яким “може належати” позначка. Вочевидь лише для таких траєкторій отримана позначка може бути “народжена” відповідним об’єктом. Для всіх інших траєкторій вона є хибною, тож не змінює відповідних відношень правдоподібності.

Для визначення множини траєкторій, що їм може належати позначка Y_{it} , можна скористатись наступним підходом. Для кожної позначки, що обробляється, з урахуванням помилок вимірювання координат визначити обмежену просторову область, яка має своїм центром позначку та такі розміри, щоб до неї з високою ймовірністю потрапила точка простору, в якій знаходиться об’єкт, що народив цю позначку.

Тут доцільно привести аналогію з операцією стробування, коли навколо прогнозованого положення об’єкта, що рухається по певній траєкторії, формується просторова область. Ця область має назву стробу траєкторії, а всі вимірювання, що “потрапляють” в строб, з якоюсь ймовірністю вважаються народженими вказаним об’єктом. Тому сформовану навколо позначки просторову область можна назвати стробом позначки.

Отже будемо вважати, що позначка з якоюсь ймовірністю може бути сформована об’єктом, якщо він на момент часу t знаходиться в межах стробу позначки, незалежно від того, по якій саме траєкторії він рухається.

Величина $\Delta I_j(Y_{it})$ (19) тим більше, чим ближче до центру стробу позначки Y_{it} очікуване положення об’єкта θ_j на момент часу t .

Після обробки всіх K_t , змодельованих на огляді позначок, внаслідок стробування для кожної з позначок та відповідної зміни відношень правдоподібності для траєкторій, що потрапляють в строби, буде сформовано N відношень правдоподібності $I_j(\bar{Y}_{mt})$ для всіх можливих параметрів траєкторій θ_j при отриманні на даному огляді певної сигнальної обстановки \bar{Y}_{mt} .

Для кожної з траєкторій добуток таких “поглядових” відношень правдоподібності дає відношення правдоподібності $I_j(\bar{Y}_m)$ при отриманні на T оглядах певної сигнальної обстановки \bar{Y}_m (17). За виразом (16) розраховується значення випадкової інформації $i_j \bar{Y}_m$.

Математичне сподівання цієї випадкової величини i є саме тією частковою середньою інформацією, що розраховується. В якості її оцінки використовується середнє арифметичне отриманих у M^* експериментах випадкових взаємних інформацій (16):

$$I_{jY} = \frac{1}{M^*} \sum_{m=1}^{M^*} i_{j\bar{Y}_m} . \quad (20)$$

При цьому загальна середня взаємна інформація визначається згідно виразу (14).

Викладений метод розрахунку інформації про наявність об'єкта, яка міститься в сигнальній обстановці, було використано при наступних умовах. Засіб спостереження має двомірну прямокутну зону огляду. В якості моделі руху об'єкта застосовується модель прямолінійного рівномірного руху в площині 3О. Координати “цільових” позначок від об'єкта розподілені за двомірним нормальним законом з дисперсією, що залежить від відношення сигнал/шум q , та продискретизовані. Кількість хибних позначок на одному огляді підлягає біноміальному закону. Амплітуди позначок вважаються розподіленими за законом Релея з параметром для хибних позначок $\sigma_R^2 = 1$, та для цільових – $\sigma_R^2 = 1 + 0.5 \cdot q^2$, а саме продискретизованими з вказаних розподілів, або бінарно квантованими. Вважалося, що вся енергія відбитого від об'єкта сигналу зосереджена в межах лише одного ЕОР.

Окрім середніх загальної та часткових взаємних інформацій між цільовою та сигнальною обстановками для виявника та виявника-вимірювача, були розраховані такі ж інформації для “чистого” вимірювача ($j = \overline{1, N}$). При цьому до уваги бралися лише ті експерименти, що відповідали цільовим обстановкам з наявністю якоїсь цілі, апріорні ймовірності станів цільової обстановки перераховувались у відповідності з (12), а випадкова взаємна інформація між цільовою та сигнальною обстановками визначалась подібно до (15) за виразом

$$i_{j\bar{Y}_m} = \log \left(\frac{P(\bar{Y}_m/x_j)}{\left(\sum_{j=1}^N p_I(\theta_j) P(\bar{Y}_m/\theta_j) \right)} \right) .$$

Отримані результати дали змогу виявити сутність кількості інформації про наявність об'єкта на виході ППО та деякі її залежності від параметрів системи виявлення.

1. Кількість інформації про наявність конкретного об'єкта, яка розрахована для виявника-вимірювача, може бути представлена зваженою сумою кількостей інформацій про наявність цього об'єкта, розрахованими окремо для виявника і окремо для вимірювача. Тож інформація про наявність об'єкта, що необхідна для сумісного виявлення-вимірення, складається з інформацій, необхідних для виявлення об'єкта та для визначення параметрів його траєкторії.

2. При добре розрізняваних гіпотезах про параметри траєкторій

факт наявності позначки несе більше інформації про наявність об'єкта, ніж “вигляд” амплітуди позначки. Тож для вимірювання достатньо успішно можна користуватись бінарно квантованими амплітудами. В свою чергу, амплітуда позначки має велике значення при виявленні цілі.

3. Інформація про наявність об'єкта, що рухається по конкретній траєкторії, буде тим менше, чим з більшою кількістю траєкторій вона перетинається.

4. При більшому числі оглядів кількість інформації про наявність об'єкта досягає потрібного значення при меншому відношенні сигнал/шум. Тобто накопичення здатне компенсувати недолік енергетики засобу спостереження.

Висновки. Викладений в статті метод визначення кількості інформації про наявність об'єкта, що міститься в потоці позначок на виході ППО, дозволяє практично реалізувати інформаційний підхід до синтезу виявників. За допомогою викладеного методу можна попередньо оцінити доцільність модернізації існуючих систем виявлення КО в плані задовільнення новим вимогам. В подальшому метод може бути дороблений для використання при наявності в зоні огляду кількох цілей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Саваневич В.Е. Информационный подход к синтезу статистических алгоритмов с минимальной сложностью // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2000. – Вып. 3 (9). – С. 123 – 128.
2. Саваневич В.Е. Постановка задачи синтеза алгоритмов минимальной сложности // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вып. 4 (20). – С. 67 – 69.
3. Саваневич В.Е., Пугач А.В. Анализ количества информации, требуемого для классификации локационных данных с заданным средним риском // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вып. 3(19). – С. 63 – 69.
4. Кульбак С. Теория информации и статистика: Пер. с англ. / Под ред. А.Н. Колмогорова. – М.: Наука, 1967. – 408 с.
5. Победоносцев В.А. Основания информметрии. – М.: Радио и связь, 2000. – 170 с.
6. Стратонович Р.Л. Теория информации. – М.: Сов. радио, 1975. – 424 с.
7. Бакут П.А., Жулина Ю.В., Иванчук Н.А. Обнаружение движущихся объектов. – М.: Сов. радио, 1980. – 288 с.

Надійшла 30.05.2003

САВАНЕВИЧ Вадим Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент, докторант ХВУ. В 1986 году окончил ХВУРЭ. Область научных интересов – обработка локационной информации, информметрия.

ПУГАЧ Андрей Витальевич, адъютант Харьковского военного университета. В 1997 году окончил ХВУ. Область научных интересов – обработка локационной информации.