

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ВПЛИВУ ОБЛАСТЕЙ ПІДВИЩЕНОЇ ІОНІЗАЦІЇ НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ І КОРЕЛЯЦІЮ СИГНАЛІВ

Розглядається методика оцінки впливу областей підвищеної іонізації штучного походження на точність виміру координат і кореляцію сигналів, що надходять в приймальні пункти багатопозиційних радіолокаційних комплексів, і досліджується можливість компенсації цього впливу.

Постановка задачі. Безперервне підвищення вимог до обсягу і якості радіолокаційної інформації (РЛІ), перешкодозахищеності і живучості радіолокаційних засобів спонукає спеціалістів не тільки шукати нові технічні рішення при створенні основних компонентів РЛС – антен, передавальних і приймальних пристроїв обробки сигналів та ін., але і розвивати нові напрямки в області радіолокації. Одним з таких перспективних напрямків є багатопозиційна радіолокація [1].

Суттєве ускладнення роботи інформаційних систем можуть створювати іонізовані утворення (області підвищеної іонізації) як природного, так і штучного походження. Штучні області підвищеної іонізації (ОПІ) в силу значно більшої іонізації атмосфери, порівняно з іншими іонізованими утвореннями, більш швидко змінюють електронну концентрацію всередині ОПІ і зміни їх координат, здійснюють найбільш суттєвий вплив на проходження радіохвиль. У зв'язку з цим є доцільним оцінити вплив областей підвищеної іонізації штучного походження на точність виміру координат і кореляцію сигналів, що надходять в приймальні пункти багатопозиційних радіолокаційних комплексів, і дослідити можливість компенсації цього впливу, а потім отримані результати розповсюдити і на інші іонізовані утворення.

На підставі цієї оцінки можливо буде виробити конкретні шляхи вирішення проблеми компенсації впливу областей підвищеної іонізації на точнісні характеристики багатопозиційного радіолокаційного комплексу. Такі розрахунки для багатопозиційних радіолокаційних комплексів, як показує огляд праць, присвячених даній проблемі [2], [3], [4], не проводились.

Мета дослідження. У зв'язку з вищевказаним становить певний інтерес розробка методики оцінки впливу областей підвищеної іонізації штучного походження на точність виміру координат і кореляцію сигналів, що надходять в приймальні пункти багатопозиційних радіолокаційних комплексів, і дослідити можливість компенсації цього впливу.

Основна частина. Випадок сполученого прийому. Визначення кутових координат цілі радіотехнічними методами зводиться, власне кажучи, до визначення просторового положення фронту хвилі, відбитої (або випроміненої) ціллю, що спостерігається. Якщо розміри антени, що приймає сигнали, не занадто великі, то фронт хвилі в межах апертури антени можна вважати плоским. Удаваний напрямок на ціль збігається з нормаллю до фронту хвилі. У припущенні, що умови застосовності геометричної оптики виконуються, показник переломлення n незначно відрізняється від одиниці, а траєкторії променів при розрахунку різностей фаз сигналів можна вважати прямолінійними, для помилки $\Delta\theta$ виміру кутових координат θ за рахунок впливу середовища (не обов'язково іонізованого) був отриманий наступний вираз [5]:

$$\Delta\theta \approx \frac{1}{R} \int_0^R (\text{grad } n, \bar{\eta}) dl, \quad (1)$$

де R – відстань від РЛС до цілі; $\bar{\eta}$ – одиничний вектор, перпендикулярний променю, що з'єднує ціль і РЛС, який лежить у площині вимірюваного кута θ ; інтегрування здійснюється уздовж променя; перемінна інтегрування l відлічується від цілі.

Замість l можна ввести нову перемінну $\tau = R - l$, відлічану від РЛС. Тоді одержимо:

$$\Delta\theta \approx \frac{1}{R} \int_0^R (\text{grad } n, \bar{\eta})(R - \tau) d\tau. \quad (2)$$

Ця формула придатна для розрахунку помилки виміру будь-якого кута, наприклад, азимута, кута місця, або кутів, що характеризують положення цілі в біконічній системі координат.

Умовимося напрямок орта $\bar{\eta}$ вибирати так, щоб вимірюване значення кута $\theta_{зм}$, дорівнювало сумі дійсного значення θ і помилки виміру $\Delta\theta$:

$$\Delta\theta_{зм} = \theta + \Delta\theta.$$

Помилка виміру відстані за фазовим запізнюванням виражається формулою:

$$\Delta R \approx 2 \int_0^R (n - 1) dr . \tag{3}$$

У РЛС відстань визначається за груповим запізнюванням. Групова швидкість визначається виразом:

$$g_{GP}(\omega_0) = \left. \frac{c}{\frac{d}{d\omega}(\omega n(\omega))} \right|_{\omega=\omega_0} ,$$

де ω_0 – кутова несуча частота; c – швидкість світла в порожнечі.

З огляду на те, що $\omega = 2\pi/T$, цей вираз можна привести до вигляду:

$$g_{GP}(T_0) = c / \left\{ -\frac{T^2}{2\pi} \frac{d}{dT} \left(\frac{2\pi}{T} n(T) \right) \right\} \Bigg|_{T=T_0} .$$

Підставивши сюди значення $n(T)$, що виражається формулою [5]:

$$n \approx 1 - n_1/f^2 - n_2/f^4 - n_3/f^6 = 1 - n_1T^2 - n_2T^4 - n_3T^6 , \tag{4}$$

одержимо з точністю до малих шостого порядку відносно T_0 :

$$g_{GP}(T_0) = c / [1 + n_1T_0^2 + 3n_2T_0^4 + 5n_3T_0^6] , \tag{5}$$

де T_0 – період коливання несучої частоти.

Якщо показник переломлення не залежить від частоти ($n_1 = n_2 = n_3 = 0$), то групова швидкість, фазова швидкість і швидкість світла збігаються: $g_{GP} = g_{фаз} = c$. З точністю до членів другого порядку відносно T_0 маємо $g_{GP} \cdot g_{фаз} = c^2$.

Групове запізнювання в іонізованому середовищі дорівнює:

$$\tau_{GP} = \int_0^R d\tau / g_{GP}(T_0) \approx \frac{1}{c} \int_0^R (1 + n_1T_0^2 + 3n_2T_0^4 + 5n_3T_0^6) dr . \tag{6}$$

Вимірювана відстань $R_{зм}$ = $c\tau_{GP}$. Дійсна відстань R . Помилка виміру відстані буде:

$$\Delta R = R_{зм} - R \approx \int_0^R (n_1T_0^2 + 3n_2T_0^4 + 5n_3T_0^6) dr . \tag{7}$$

Формула враховує тільки помилку через вплив іонізованого середовища (при $n_1 = n_2 = n_3 = 0$ маємо $\Delta R = 0$). Складова помилки виміру, обумовлена неіонізованим середовищем (тропосферою), дорівнює:

$$\Delta R_{ТРОП} = \int_0^R (n_{ТРОП} - 1) dr , \tag{8}$$

де $n_{ТРОП}$ – показник переломлення тропосфери, що залежить від координат, але не залежний від частоти.

З огляду на вирази (4), (2), помилку виміру будь-якої координати (за рахунок впливу іонізованого середовища) можна подати у вигляді:

$$\Delta \lambda = \sum_{m=1}^M \lambda_m T_0^{2m} , \tag{9}$$

де $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ – незалежні від частоти коефіцієнти, що визначають значення помилок, обумовлених іонізованим середовищем.

Ці коефіцієнти при заданих параметрах іонізованого середовища і положенні цілі можуть бути в принципі розраховані, з використанням формул (4), (2). Однак при використанні багаточастотного методу локації (більш докладно про нього буде сказано нижче) доцільно включати коефіцієнти $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ де m – число оцінюваних значень, поряд із дійсним значенням координати λ , на декількох частотах. Регулярну помилку (тропосферну) виміру координати $\Delta \lambda_{ТРОП}$ необхідно можливо повніше виключити з обмірюваного значення координати $\lambda_{зм}$. Далі будемо вважати, що залишковою регулярною тропосферною помилкою виміру координати можна зневажити.

Випадок рознесеного прийому. Під рознесеним прийомом, у даному випадку, будемо мати на увазі не тільки активну, але і пасивну локацію.

Спочатку розглянемо, як впливає область підвищеної іонізації на базово-кореляційну систему виміру координат джерела випромінювання. Нехай $x(t)$ – сигнал, випромінюваний джерелом випромінювання, а $X(f)$ – його спектр. Сигнали, прийняті в рознесених пунктах 1 і 2, описуються різними функціями

часу $x_1(t)$ і $x_2(t)$, спектри яких дорівнюють відповідно $X_1(f)$ і $X_2(f)$. Частотні, характеристики трас „джерело випромінювання – 1 приймальний пункт” і „джерело випромінювання – 2 приймальний пункт” дорівнюють відповідно $F_1(f)$ і $F_2(f)$, тому $X_1(f) = F_1(f)X(f)$, $X_2(f) = F_2(f)X(f)$. Будемо вважати, що корелятор знаходиться в 1 приймальному пункті. Тоді, якби не було ОПІ, то максимальне значення кореляційної функції мало б місце при затримці сигналу прийнятого в 1 пункті, рівній $\tau = \tau_0 = (R_2 + R_{12} - R_1)/c$. Тут R_1, R_2 – відстань від джерела випромінювання до 1-го і 2-го приймальних пунктів; R_{12}/c – затримка сигналу при передачі його від 2-го приймального пункту до 1-го.

У загальному випадку кореляційна функція має вигляд [3], [6], [7]:

$$K(\tau) \sim \left\langle \int_{-\infty}^{\infty} x_1(t - \tau) x_2^*(t) dt \right\rangle, \tag{10}$$

де $x_1(t), x_2(t)$ – комплексні огибаючі сигналів (за Гильбертом), знак \sim означає пропорційність, а $\langle \rangle$ – математичне очікування.

З огляду на те, що спектр сигналу $x_1(t - \tau)$ дорівнює $X_1(f)e^{-j2\pi f\tau}$, і використовуючи теорему Парсеваля, одержимо:

$$K(\tau) \sim \left\langle \int_{-\infty}^{\infty} X_1(f) e^{-j2\pi f\tau} \cdot X_2^*(f) df \right\rangle = \left\langle \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 F_1(f) \cdot F_2^*(f) e^{-j2\pi f\tau} df \right\rangle.$$

Вважаючи, що математичне очікування $\langle |X(f)|^2 \rangle$ дорівнює константі на інтервалі $(f_0 - \Delta f, f_0 + \Delta f)$, а поза цим інтервалом дорівнює нулю (при широкосмуговій перешкоді величину $2\Delta f$ варто вважати шириною смуги пропускання приймального тракту), одержимо:

$$K(\tau) \sim \int_{f_0 - \Delta f}^{f_0 + \Delta f} F_1(f) \cdot F_2^*(f) e^{-j2\pi f\tau} df.$$

Коефіцієнт кореляції як функція затримки τ приблизно дорівнює:

$$K(\tau) = \frac{\int_{f_0 - \Delta f}^{f_0 + \Delta f} F_1(f) \cdot F_2^*(f) e^{-j2\pi f\tau} df}{\sqrt{\int_{f_0 - \Delta f}^{f_0 + \Delta f} |F_1(f)|^2 df \cdot \int_{f_0 - \Delta f}^{f_0 + \Delta f} |F_2(f)|^2 df}}. \tag{11}$$

Якби частотні характеристики трас були однаковими з точністю до множника $\exp(-j2\pi f \cdot \text{const})$, то максимальний модуль коефіцієнта кореляції дорівнював би одиниці. Розбіжність частотних характеристик трас, що має місце за рахунок впливу ОПІ, призводить до зменшення максимального значення модуля коефіцієнта кореляції, до зміни затримки τ_0 , що відповідає максимумові обгибаючої кореляційної функції, отже, до помилок визначення положення джерела випромінювання. Загасання сигналів на трасах може бути досить значним.

Вважаючи, що прийняті від джерела випромінювання сигнали значно перевищують власні шуми приймачів, обговоримо питання про можливу компенсацію помилок визначення координат джерела випромінювання. Насамперед необхідно компенсувати розходження в спектрах $X_1(f)$ і $X_2(f)$, що призводять до зниження максимального значення модуля коефіцієнта кореляції. Для цього досить пропустити один із сигналів, наприклад, $x_1(t)$, через фільтр із нелінійною фазочастотною характеристикою. Керуючи формою цієї характеристики, можна домогтися значення коефіцієнта кореляції $K(\tau)$, близького за модулем до одиниці. Далі необхідно усунути помилку у визначенні різниці ходу сигналів, обумовлену впливом ОПІ. Це можна зробити при досить широкому спектрі перешкоди, виміривши затримки двох або декількох спектральних ділянок перешкоди.

Аналогічним чином можна компенсувати вплив ОПІ на точність визначення координат цілі по відбитому сигналу базово-кореляційним методом. Розходження у формах спектрів сигналів, прийнятих у пунктах 1 і 2, будуть такими ж, як і у випадку роботи з джерелом випромінювання. Точність визначення різниці ходу може бути підвищена, якщо випромінювати зондувальні сигнали на несучих частотах, що істотно розрізняються. Більш докладно питання про можливу компенсацію помилок виміру координат цілі (джерела випромінювання), обумовлених впливом ОПІ, буде розглянуто нижче.

Способи компенсації помилок виміру координат, зв'язаних зі скривленням траєкторії променя. Як уже відзначалося вище, проходження радіохвиль через іонізоване середовище пов'язане з перекручуванням частотних спектрів сигналів, викликаним дисперсійними властивостями середовища, і

скривленням траєкторії променя, що приводить до помилок виміру координат. Серед методів уведення виправлень на іонізоване середовище в результаті вимірів координат, найбільшого поширення останнім часом одержали алгоритмічні методи. Суть цих методів полягає в наступному. За допомогою якої-небудь РЛС визначаються потужність, координати і момент вибуху ядерного заряду; будується модель ОПІ. За цією моделлю для кожної РЛС, що входить до складу багатопозиційного радіолокаційного комплексу, перед локацією чергової цілі визначається, чи не екранована вона, областю підвищеної іонізації. Якщо екранування нема, то з урахуванням траєкторії променя оцінюються апріорні дисперсії параметрів $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M$ (див. вище), що характеризують іонізоване середовище. Для високої вірогідності одержуваних у такий спосіб результатів повинна бути досить високою адекватність моделі реальному процесові, що на практиці важко досягти. Тому при розв'язанні конкретних задач результати, одержувані за допомогою цих методів, навряд чи можна вважати задовільними. Найбільш прийнятним шляхом вирішення даної проблеми є використання багаточастотних методів уведення виправлень на іонізоване середовище в результаті вимірів координат багатопозиційним радіолокаційним комплексом [3], [5], [8], [9]. Це питання є достатньо розробленим. Обмежимося порівнянням двох способів обробки результатів вимірів координат, заснованих на методах максимальної правдоподібності і максимальної апостеріорної імовірності [10], [11]. Зупинимося на цих методах більш докладно.

Метод максимальної правдоподібності. Змірюване значення λ_{3M} довільної координати λ радіолокаційною станцією на частоті f_n подається у вигляді:

$$\lambda_{3M} = \lambda + \sum_{m=1}^M \lambda_m T_n^{2m} + \delta_n . \tag{12}$$

Тут λ – дійсне значення координати (точніше – сума дійсного значення, залишкової регулярної тропосферної помилки і помилки, однакової у всіх частотних каналах); $T_n = 1/f_n$; δ_n – випадкова помилка виміру, обумовлена власними шумами n -го приймального тракту і погрішностями роботи апаратури; $\sum_{m=1}^M \lambda_m T_n^{2m} = \Delta\lambda$ – помилка виміру координати, обумовлена впливом ОПІ (див. вище). Число частотних каналів позначимо буквою N_K . Тоді при використанні N_K частотних каналів одержимо:

$$\Lambda_{3M} = [\lambda_{3M1}, \dots, \lambda_{3MN_K}]^T, \quad \Lambda = [\lambda, \lambda_1, \dots, \lambda_M]^T,$$

$$\delta = [\delta_1, \dots, \delta_{N_K}]^T, \quad T = \begin{bmatrix} 1, T_1^2, \dots, T_1^{2M} \\ 1, T_2^2, \dots, T_2^{2M} \\ \dots \\ 1, T_{N_K}^2, \dots, T_{N_K}^{2M} \end{bmatrix},$$

де індекс T означає транспонування. Тоді сукупність всіх N_K вимірюваних значень координати λ можна записати у вигляді

$$\Lambda_{3M} = T \Lambda + \delta . \tag{13}$$

Випадкові помилки вимірів $\delta_1, \dots, \delta_{N_K}$ будемо вважати гаусовськими, попарно некорельованими, що мають однакові дисперсії σ_δ^2 і нульові математичні очікування. За обмірюваними елементами матриці Λ_{3M} і відомою матрицею T потрібно знайти максимально правдоподібну оцінку матриці Λ (для нас важливий, насамперед, її перший елемент λ). Очевидно, що число вимірів N_K (тобто число рівнянь) повинне бути не менше числа невідомих, $M + 1$. Логарифм відношення правдоподібності з точністю до несуттєвої складової, яка не залежить від Λ , буде:

$$\ln l = -\frac{1}{2\sigma_\delta^2} (\Lambda_{3M} - \langle \Lambda_{3M} \rangle)^T (\Lambda_{3M} - \langle \Lambda_{3M} \rangle), \tag{14}$$

де $\langle \Lambda_{3M} \rangle = T \Lambda$ – математичне очікування Λ_{3M} .

Матриця-стовпець максимально правдоподібних оцінок параметрів відповідає максимумові виразу (14) і дорівнює:

$$\hat{\Lambda} = (T^T T)^{-1} T^T \Lambda_{3M}, \tag{15}$$

Якщо число параметрів $M + 1$ дорівнює числу частотних каналів N_K , то матриця T квадратна невідроджена, і

$$\hat{\Lambda} = T^{-1} \Lambda_{3M}.$$

У найпростішому випадку, коли мається два частотних канали, а помилки вимірів через вплив іонізованого середовища обернено пропорційні квадратом частоти, маємо:

$$\begin{bmatrix} \hat{\lambda} \\ \hat{\lambda}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1, & T_1^2 \\ 1, & T_2^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \lambda_{3M1} \\ \lambda_{3M2} \end{bmatrix}.$$

Отже, максимально правдоподібна оцінка координати:

$$\hat{\lambda} = \frac{T_2^2 \lambda_{3M1} - T_1^2 \lambda_{3M2}}{T_2^2 - T_1^2} = \frac{\lambda_{3M2} - \lambda_{3M1} \cdot \gamma}{1 - \gamma}, \quad (16)$$

де

$$\gamma = T_2^2 / T_1^2 = f_1^2 / f_2^2.$$

При довільному числі частотних каналів N_k і оберненоквадратичної залежності помилок, обумовлених іонізованим середовищем, від частоти одержимо:

$$\hat{\lambda} = \frac{\sum_{n=1}^{N_k} \gamma_n^2 \sum_{m=1}^{N_k} \lambda_{3Mn} - \sum_{n=1}^{N_k} \gamma_n \sum_{m=1}^{N_k} \gamma_m \cdot \lambda_{3Mn}}{N_k \sum_{n=1}^{N_k} \gamma_n^2 - \left(\sum_{n=1}^{N_k} \gamma_n \right)^2},$$

де

$$\gamma_n = T_n^2 / T_1^2 = f_1^2 / f_n^2.$$

Кореляційна матриця помилок оцінювання параметрів методом максимальної правдоподібності у загальному випадку відповідно до (15) дорівнює:

$$\langle \Delta \Delta \Delta^T \rangle = \sigma_\delta^2 (T^T T)^{-1}. \quad (17)$$

Дисперсія помилки визначення координати при довільному числі частотних каналів N_k і оберненоквадратичної залежності помилок через вплив іонізованого середовища від частоти дорівнює:

$$\sigma_{\hat{\lambda}}^2 = \sigma_\delta^2 \frac{\sum_{n=1}^{N_k} \gamma_n^2}{N_k \sum_{n=1}^{N_k} \gamma_n^2 - \left(\sum_{n=1}^{N_k} \gamma_n \right)^2}.$$

Якщо $N_k = 2$, то

$$\sigma_{\hat{\lambda}}^2 = \sigma_\delta^2 \frac{1 + \gamma^2}{(1 - \gamma)^2}. \quad (18)$$

З останньої формули випливає, що при значенні γ , близькому до одиниці, дисперсія помилки визначення координати $\sigma_{\hat{\lambda}}^2$ істотно перевищує дисперсію випадкових помилок вимірів σ_δ^2 . Так, при $(f_2 - f_1) / f_2 = 0,07 \div 0,14$, тобто при $\gamma = 0,93^2 \div 0,86^2$ маємо $\sigma_{\hat{\lambda}}^2 / \sigma_\delta^2 = 96 \div 23$

При збільшенні числа частотних каналів відношення зменшується. Так, наприклад, при $(f_{N_k} - f_1) / f_{N_k} = 0,07 \div 0,14$ і рівномірному за частотою розподілі каналів для $N_k = 4$ маємо $\sigma_{\hat{\lambda}}^2 / \sigma_\delta^2 = 86 \div 20$, а для $N_k = 48$ — $\sigma_{\hat{\lambda}}^2 / \sigma_\delta^2 = 55 \div 13$. Однак, якщо врахувати, що сумарна за всіма частотами енергія сигналу повинна бути однаковою у всіх розглянутих прикладах, то при перевазі шумових помилок у складі випадкових помилок збільшення числа частотних каналів призведе до зростання дисперсії помилки виміру координати $\sigma_{\hat{\lambda}}^2$.

Якщо вимір координат здійснюється незабаром після ядерного вибуху, коли залежність показника переломлення середовища від періоду T_o коливань несучої частоти описується поліномом четвертого і більш високого ступеня (4), то для відшукування максимально правдоподібних оцінок координат і їхніх дисперсій варто користуватися загальними формулами (15), (17).

Слабке місце методу максимальної правдоподібності: неясно, як вибирати ступінь полінома, що описує залежність показника переломлення від періоду коливань. У цьому відношенні кращим є метод максимальної апостеріорної імовірності.

Метод максимальної апостеріорної імовірності. Будемо вважати апіорний розподіл параметрів $\lambda, \lambda_1, \dots, \lambda_M$ нормальним, математичні очікування значень $\lambda_1, \dots, \lambda_M$ — нульовими, дисперсію координати λ — нескінченною, параметри $\lambda_1, \dots, \lambda_M$ — незалежними з відомими дисперсіями, рівними $\sigma_1^2, \dots, \sigma_M^2$. Ці дисперсії можна оцінювати, знаючи параметри іоносфери і ОПШ ядерних вибухів (координати епіцентру і момент вибуху, тротиловий еквівалент, відстань від епіцентру до траєкторії

променя, і т.п.). Помітимо відразу, що при відомих з достатньою точністю параметрах ядерного вибуху й адекватної моделі ОПІ можна розрахувати помилки виміру координат за рахунок впливу іонізованого середовища, і, отже, врахувати її вплив, не звертаючись до багаточастотного методу.

При сформульованих припущеннях логарифм апостеріорної щільності імовірності розподілу значень параметрів $\lambda, \lambda_1, \dots, \lambda_M$ з точністю до несуттєвої складової буде:

$$\ln p = -\frac{1}{2} \Lambda^T \Sigma^{-1} \Lambda + \ln l = -\frac{1}{2} \Lambda^T \Sigma^{-1} \Lambda - \frac{1}{2\sigma_\delta^2} (\Lambda_{3M} - T \Lambda)^T (\Lambda_{3M} - T \Lambda), \quad (19)$$

де

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_1^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_M^2 \end{bmatrix},$$

причому апіорна дисперсія σ^2 координати λ вважається рівною нескінченності. Максимізуючи вираз (19) шляхом підбору матриці-стовпця Λ оцінюваних параметрів, одержимо наступний вираз для оцінок $\hat{\Lambda}$, що відповідають максимальній апостеріорній імовірності:

$$\hat{\Lambda} = (T^T T + \sigma_\delta^2 \Sigma^{-1})^{-1} T^T \Lambda_{3M}. \quad (20)$$

При широких апіорних розподілах, коли всі апіорні дисперсії $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_M^2$ прагнуть до нескінченності, формула (20) переходить у (15). При прагненні апіорних дисперсій $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_M^2$ до нуля (апіорна дисперсія координати σ^2 , як і раніше, вважається нескінченною), з (20) одержуємо:

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{N_K} \sum_{n=1}^{N_K} \lambda_{3Mn}, \quad \hat{\lambda}_1 = \hat{\lambda}_2 = \dots = \hat{\lambda}_M = 0.$$

Кореляційна матриця помилок оцінювання параметрів у загальному випадку відповідно до (20) дорівнює:

$$\langle \Delta \Lambda \Delta \Lambda^T \rangle = \sigma_\delta^2 (T^T T - \sigma_\delta^2 \Sigma^{-1})^{-1} T^T T (T^T T + \sigma_\delta^2 \Sigma^{-1})^{-1}. \quad (21)$$

Розглянемо докладніше двочастотний метод ($M=1$), думаючи, що помилки вимірів, обумовлені іонізованим середовищем, пропорційні квадратів періоду коливаний. При цьому відповідно до (20) матимемо:

$$\begin{bmatrix} \hat{\lambda} \\ \hat{\lambda}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2, & T_1^2 + T_2^2 \\ T_1^2 + T_2^2, & T_1^4 + T_2^4 + \sigma_\delta^2 / \delta_1^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1, & 1 \\ T_1^2, & T_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_{3M1} \\ \lambda_{3M2} \end{bmatrix}.$$

Звідси знаходимо оцінку координати, що відповідає максимальній апостеріорній імовірності:

$$\hat{\lambda} = \frac{\left[\frac{1}{1-\gamma} + \frac{\sigma_\delta^2}{\sigma_1^2 T_1^4 (1-\gamma)^2} \right] \lambda_{3M2} - \left[\frac{\gamma}{1-\gamma} + \frac{\sigma_\delta^2}{\sigma_1^2 T_1^4 (1-\gamma)^2} \right] \lambda_{3M1}}{1 + 2 \frac{\sigma_\delta^2}{\sigma_1^2 T_1^4 (1-\gamma)^2}}, \quad (22)$$

де по-колишньому $\gamma = T_2^2 / T_1^2 = f_1^2 / f_2^2$. При $\sigma_\delta^2 \ll \sigma_1^2 T_1^4 (1-\gamma)^2$ ця формула переходить у (16), а при виконанні зворотної нерівності $\hat{\lambda} = (\lambda_{3M1} + \lambda_{3M2}) / 2$.

Висновок. Наведені вище формули для оцінок максимальної апостеріорної імовірності справедливі для кожної з координат. Однак відношення дисперсії σ_δ^2 випадкової помилки виміру до апіорної дисперсії $\sigma_1^2 T_1^4$ координати, обумовлених середовищем, для дальності звичайно значно менше, ніж для кожної з кутових координат. Тому при оцінці дальності за формулою (22) помилки за рахунок іонізованого середовища компенсуються набагато глибше, ніж при оцінці кутових координат. Це варто враховувати при обробці даних, одержуваних багатопозиційним радіолокаційним комплексом.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Черняк В.С., Заславский Л. П., Осипов Л.В. Многопозиционные радиолокационные станции и системы //Зарубежная радиоэлектроника. – 1987. – № 1.
2. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме.- М.: Физматиздат, 1960.

3. *Ширман Я.Д., Манжос В.І.* Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1961.
4. *Скольник М.* Введение в технику радиолокационных систем. – М.: Мир, 1965.
5. *Красногоров С.И.* Влияние горизонтальных градиентов показателя преломления атмосферы на точность радиолокации высоколетящих объектов // Труды АРТА, 1961, № 53.
6. *Альперт Я.П., Гинзбург В.Л., Фернберг Е.Л.* Распространение радиоволн.- М.: Гостехиздат, 1953.
7. *Черный Ф.Б.* Распространение радиоволн. – М.: Сов. радио, 1972.
8. *Пирс.* Явление ядерных взрывов и их радиобнаружение // ТИИЭР, № 12. – 1965.
9. Проблемы магнитной гидродинамики и космической газодинамики. – М.: Наука, 1964.
10. *Стробен.* Распространение волн в турбулентной атмосфере в пределах прямой видимости // ТЖЭР, № 8, 1968.
11. *Марьин Н.Н.* Об эффективной отражающей поверхности ионизированной области, имеющей форму шара // Радиотехника и электроника. – № 2. – 1965.

ДЕНИСЮК Анатолій Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри радіоелектроніки Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання складних систем;
- обробка радіолокаційної інформації на фоні перешкод;
- підвищення точності виміру координат на фоні перешкод.

Подано 15.09.2005

Денисюк А.Ю. **Методика оцінки впливу областей підвищеної іонізації на точність вимірювання координат і кореляцію сигналів**

Денисюк А.Ю. **Методика оценки влияния областей повышенной ионизации на точность измерения координат и корреляцию сигналов**

Denisyuk A. U. **Method use for the purpose of the influence regions rise ionization on accuracy dimension and correletions of the signals**

УДК 621.391.8:621.396.96

Методика оцінки впливу областей підвищеної іонізації на точність вимірювання координат і кореляцію сигналів / А.Ю. Денисюк.

В статті розглядається методика оцінки впливу областей підвищеної іонізації штучного походження на точність виміру координат і кореляцію сигналів, що приймаються в приймальних пунктах багатопозиційних радіолокаційних комплексів, і досліджується можливість компенсації цього впливу.

УДК 621.391.8:621.396.96

Методика оценки влияния областей повышенной ионизации на точность измерения координат и корреляцию сигналов / А.Ю. Денисюк.

В статье рассматривается методика оценки влияния областей повышенной ионизации искусственного происхождения на точность измерения координат и корреляцию сигналов принимаемых в приемных пунктах многопозиционных радиолокационных комплексов.

УДК 621.391.8:621.396.96

Method use for the purpose of the influence regions rise ionization on accuracy dimension and correletions of the signals / A.U. Denisyuk.

The method use for the purpose of the influence regions rise ionization on accuracy dimension and correletions of the signals.