

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ВИБІРНОСТІ БАГАТОПОЗИЦІЙНОЇ МЕТЕОРНОЇ РТС

Милюгченко І.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки
61166, Харків, пр. Леніна, 14, каф. основ радіотехніки, тел. (057) 702-14-79
E-mail: ort@kture.kharkov.ua

The structural selectivity concept is formulated for the multistatic radio engineering system for determination of meteor radiant coordinates. The method of estimation of the additional factor of selectivity, associating with geometry of positions and algorithm of simultaneous data processing, is considered. The problem of parametrical optimization of the multistatic radio engineering system using the criterion of the minimum of the structural selectivity is considered. The algorithm and the results of the calculation of the structural factor are presented. The optimal coordinates of the diversity positions are obtained.

Вступ. Метеорні радіотехнічні системи (РТС) є важливим засобом метеорних досліджень, що дозволяє отримати цінну астрономічну і геофізичну інформацію. Дані радіолокаційних спостережень метеорів, інтерпретовані з огляду на їхню специфіку, дозволяють оцінити параметри моделі розподілу метеорних часток поблизу орбіти Землі, а також прогнозувати метеорне поширення радіохвиль на заданих трасах.

Оскільки при радіолокаційному методі, який є непрямим, реєструють не самі метеорні тіла, а явища, породжувані ними в атмосфері Землі (радіометеори), щоб перейти від «видимих» (доступних спостереженню) розподілів параметрів метеорів X_B до «істинних» (виправлених) X , необхідно оцінити помітність метеорів.

Помітність – це властивість радіометеора, яка полягає у тому, що ймовірність його реєстрації має вибірний характер щодо параметрів метеорного тіла, яке утворило даний радіометеор (метеорний слід). Тому стосовно радіометеора доцільно користуватись поняттям помітність, а стосовно радіолокаційного методу (радіометоду) і метеорної РТС – вибірність (селективність).

Зазвичай помітність враховують за допомогою вагової обробки результатів вимірювань, коли кожному зареєстрованому метеору надають вагу a , обернено пропорційну ймовірності W спостереження метеора з даними параметрами:

$$W = \prod_{i=1}^n P_i^{-1}; \quad a = W^{-1} = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

де P_i^{-1} – фактор помітності, $i = \overline{1, n}$; n – кількість факторів.

Фактор помітності (вибірності) – це ймовірність реєстрації радіометеора залежно від певного параметра (швидкості, координат радіанта, елементів орбіти метеорного тіла тощо) та умов спостереження при заданих технічних характеристиках метеорної РТС.

Ймовірність того, що метеор з параметрами x_i належить множині X_B , становить:

$$W\{x_i\}_B = W\{x_i\} P_1^{-1} P_2^{-1} P_a^{-1}, \quad (2)$$

де P_1^{-1} – геометричний, P_2^{-1} – фізичний, P_a^{-1} – апаратний фактор вибірності.

Щоб перейти від доступних спостереженню розподілів параметрів X_B до "істинних" X , які характеризують метеорну речовину поблизу орбіти Землі, необхідно знати всі фактори вибірності.

Структурна вибірність. Сучасна теорія помітності радіометеорів докладно описана у літературі [1]. Однак, аналіз основних факторів вибірності показує, що їх можна застосовувати тільки для однопозиційної або ідеальної багатопозиційної РТС (БРТС). Зазвичай їх формально застосовують і для реальних БРТС, вважаючи фактори вибірності скалярними: $P_2^{-1}(v)$, $P_3^{-1}(v)$, $P_4^{-1}(\delta)$ при фіксованому значенні α за умови цілодобових спостережень (v - швидкість метеороїда; δ , α - екваторіальні координати радіанта). Але

визначаючи координати радіанта індивідуального радіометеора та елементи орбіти метеорного тіла за допомогою БРТС, де сумісно обробляються сигнали від рознесених пунктів (позицій), слід враховувати "векторність" при оцінюванні вибірності, а отже, її додатковий фактор. Загалом причинами появи додаткової вибірності, яку називатимемо структурною, є: по-перше, геометрія (структура) розташування рознесених позицій, по-друге, алгоритм запуску апаратури на реєстрацію, пов'язаний з неодночасною появою відбитого сигналу в пунктах приймання, а також з різною ефективною чутливістю центрального (ЦП) і винесених пунктів (ВП). У свою чергу, структурна вибірність (СВ) впливає на форму та розміри області небесної геліоцентричної сфери, якій належать радіанти метеорів, що реєструються метеорною РТС, а також на точність визначення координат радіантів.

Оскільки розподіл радіантів метеорів по небесній сфері є нерівномірним, очевидно, існує оптимальне розташування позицій БРТС, при якому для заданих технічних характеристик апаратури протягом заданого часу вимірювань у зоні дії метеорної РТС реєструється максимальна кількість метеорів. У той же час розташування пунктів на місцевості, яке визначається іншими факторами (наявність приміщень, електроживлення тощо), не дозволяє оптимально розмістити ці пункти. У цьому випадку методику оцінювання СВ можна сформулювати у такий спосіб: знайти оптимальні за вибраним критерієм геометричні параметри системи, а потім визначити наслідки неоптимальності для конкретної апаратури.

Отже, структурна вибірність БРТС для визначення координат радіантів метеорів – це властивість системи, яка полягає у тому, що ймовірність реєстрації метеора з даними координатами радіанта залежить від розташування винесених пунктів і алгоритму сумісної обробки інформації від цих пунктів. Вплив СВ призводить до додаткової втрати інформації про метеорні тіла. При цьому спотворюються видимі розподіли радіантів і орбіт метеорних тіл, і для їх виправлення слід врахувати ще один фактор P_S^{-1} , додатково до вказаних у виразі (2):

$$W\{x_i\}_B = W\{x_i\} R^{-1} P_2^{-1} P_a^{-1} P_S^{-1}, \quad (3)$$

Отже, структурний фактор вибірності P_S^{-1} метеорної БРТС – це відношення ймовірності реєстрації даного радіанта при заданому розташуванні ВП до тій самій ймовірності за умови їх оптимального розташування. Загалом, оптимальне розташування ВП має забезпечувати визначення радіантів максимальної кількості радіометеорів у зоні дії метеорної РТС, а отже, зменшити вплив СВ. Даний критерій називатимемо критерієм мінімуму СВ.

СВ (як чинник впливу геометрії позицій та алгоритму сумісної обробки інформації на основні показники якості) характерна не тільки для метеорних, але й інших БРТС. Однак у метеорних РТС її урахування особливо важливе, щоб порівнювати результати вимірювань та отримані на їх основі істинні розподіли параметрів метеорної речовини поблизу орбіти Землі.

Розрахунок структурного фактора вибірності. Сформульовані вище принципи оцінювання СВ було застосовано для оптимізації РТС МАРС [1] Харківського національного університету радіоелектроніки.

Головна вимога до метеорної РТС – забезпечити отримання максимальної інформації про потік метеорної речовини на різних ділянках небесної сфери. Тому критерію мінімуму СВ відповідає максимум зваженої (з огляду на нерівномірний розподіл радіантів) площі S області небесної сфери, яку «оглядає» діаграма спрямованості антенної системи РТС за певний час (наприклад за добу). При цьому помилки визначення координат радіанта метеора не мають перевищувати припустимий рівень.

Дана задача оптимізації є задачею мінімізації (максимізації) дійсної функції цілі $S(X)$ N -вимірного векторного аргумента $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, компоненти якого задовольняють набору нерівностей $g_j(x) \geq 0$.

Для метеорної РТС функцією цілі $S(X)$ є загальна площа S області небесної сфери, яку «оглядає» система, а компонентами векторного аргумента X – координати ВП $(R_j, \varphi_j, i=1,2)$ у полярній системі координат, на початку якої розташований ЦП. Необхідно знайти такі оптимальні координати, щоб функція $S(X)$ була максимальною за m обмежень $g_j(R_j, \varphi_j) \geq 0, j=1, \overline{m}$, обумовлених виконанням геометричних умов реєстрації для ЦП і ВП, припустимими помилками визначення координат радіанта, географічними координатами ЦП тощо.

Нехай D – це область, для радіантів метеорів з якої виконуються геометричні умови реєстрації для однопозиційної РТС. При переході до геліоцентричної системи координат через ефект векторного підсумовування швидкостей метеороїдів та орбітальної швидкості Землі форма і розміри області D суттєво залежать від часу доби і року. У БРТС задача визначення D значно ускладнюється. Тому для оцінки функції S доцільно застосувати метод математичного моделювання.

Якщо поділити всю геліоцентричну сферу на M рівновеликих площинок з координатами їх центрів (β'_l, λ'_l) , розмір загальної площі, яку спостерігає система за добу, можна оцінити за кількістю площинок, які містить геліоцентрична область D , модифікована з урахуванням обмежень $g_j(R_j, \varphi_j) \geq 0, j=1, \overline{m}$:

$$S(R_j, \varphi_j) = \sum_{k=1}^{24} \sum_{l=1}^M p_l B_{lk}, \quad (4)$$

де p_l – коефіцієнт, який характеризує розподіл радіантів по небесній сфері (середньомісячні значення p_l отримують за даними вимірювань чисельності та індивідуальних характеристик метеорів); $B_{lk} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } (\beta'_l, \lambda'_l) \in D; \\ 0, & \text{якщо } (\beta'_l, \lambda'_l) \notin D. \end{cases}$

Задача визначення оптимального значення $S(R_j, \varphi_j)$ є задачею нелінійного програмування з обмеженнями. Але від цієї умовно-екстремальної задачі можна перейти до задачі безумовної оптимізації модифікованої функції цілі у вигляді:

$$F(R_j, \varphi_j) = - \sum_{k=1}^{24} \sum_{l=1}^M \left[p_l B_{lk} \prod_{j=1}^m \Phi_j(g_j(R_j, \varphi_j)) \right] \rightarrow \min, \quad (5)$$

де $\Phi_j \geq 0$ вибирають так, щоб модифікована функція дорівнювала нулю зовні припустимої області та була додатною всередині неї.

Функція $F(R_j, \varphi_j)$ є багатоекстремальною, неперервною і неявно залежить від параметрів R_j, φ_j . Аналіз існуючих методів нульового порядку, які можна застосувати для розв'язання задачі (5), показав доцільність використання алгоритму, який сполучає метод деформованого багатогранника і метод з кількома нульовими точками.

Розглянутий алгоритм дозволив знайти для вектора координат $\bar{X} = (R_j, \varphi_j)$ вектор \bar{X}_{opt} (табл.1), а також розрахувати структурний фактор вибірності F_S^1 як функцію геліоцентричної широти β' і довготи $\lambda' - \lambda_{\text{апекс}}$ для різних місяців [2].

Розрахунки та аналіз графіків F_S^1 показали, що площа небесної сфери, яку «спостерігає» БРТС через вплив СВ зменшується у середньому за добу на 15-20%, а увечері – до 90%. З урахуванням нерівномірного розподілу радіантів у межах областей видимості втрати інформації для різних місяців становлять 8-20% (у середньому 14,5%). Аналогічні