

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВИМІРІВ ПРИ СУПРОВОДІ БЛИЗЬКО РОЗТАШОВАНИХ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Проведено порівняльний аналіз методів з паралельною та послідовною ідентифікацією радіотехнічних вимірів, отриманих при супроводі космічних об'єктів у випадку, коли вони близько розташовані, наведено результати моделювання.

Постановка проблеми. Одним із найбільш складних завдань у теорії й практиці обробки радіолокаційної інформації є сумісний супровід декількох об'єктів, що рухаються на невеликих відстанях один від одного, що, зокрема, має місце при перетинанні їх траєкторій або при прольоті групою [1]. На практиці традиційне розв'язання задачі класифікації зводиться до обчислення стробів й ідентифікації векторів радіолокаційних вимірів кожного об'єкта. У випадку ж щільного потоку космічних апаратів (КА) (наприклад, вивід декількох супутників або початковий етап запуску) рішення завдання ідентифікації зазначеним методом ускладнене, тому що строби супроводу перекриваються один з одним і отримані (відібрані в строби) відмітки можуть корелювати з декількома траєкторіями. Додаткові труднощі виникають, якщо деякі відмітки пропущені, тобто ймовірності виявлення та влучення їх в строб менші одиниці, або в строб потрапили також помилкові відмітки, зумовлені природними (супровід фонових об'єктів) чи штучними перешкодами.

Огляд останніх досліджень та публікацій. Задачі синтезу оптимальних і субоптимальних алгоритмів траєкторної обробки в багатоцільовому випадку розглядалися в численній літературі. Небейєсівські стробові методи з послідовним надходженням даних [1–3] добре зарекомендували себе при супроводі невеликої кількості об'єктів за умов: великої відстані між ними, низького рівня перешкод (малої кількості помилкових відміток), високих порогів у пристроях первинної обробки. У даних методах при розрахунку гіпотез походження відміток, що потрапили в строб супроводжуваних траєкторій, не враховуються можливості їхньої приналежності іншому супроводжуваному об'єкту, розташованому в безпосередній близькості від заданого. Мова йде про спільний супровід декількох цілей, що рухаються на невеликих відстанях одна від одної. У цьому випадку строби супроводу перекриваються один з одним, отримані оцінки можуть корелювати з декількома траєкторіями. При цьому бейєсівським методам з паралельним надходженням даних [1, 4, 5] властиві більш низькі значення показників, пов'язані з помилковою ідентифікацією, особливо при супроводі близько розташованих об'єктів, однак характерна й більш висока трудомісткість, зумовлена формуванням і перевіркою величезної кількості гіпотез, що робить дані методи складно реалізованими. У [6] запропоновано метод вирішення завдання пошуку оптимальної гіпотези із сумісною ідентифікацією векторів радіотехнічних (РТ) вимірів, яке було зведено до лінійної задачі

© С. В. Логачов, Г. В. Худов, Р. В. Дзюбчук, 2013

знаходження матриці ідентифікації $\hat{\gamma}_m$, пошук якої не викликає труднощів і є класичною задачею лінійного програмування, проте дослідження даного методу при супроводі близько розташованих космічних об'єктів (КО) не проводилося.

Мета статті – порівняльний аналіз методів ідентифікації РТ вимірів з послідовним та паралельним надходженням даних при супроводі близько розташованих КО.

Виклад основного матеріалу. Отже, нехай у результаті роботи радіолокаційної станції (РЛС) було сформовано N вимірів, причому в заданій просторово-часовій області навколосемного космічного простору знаходиться Q КО, що входять у каталог КО, а також фонові об'єкти, інформація про параметри і кількість яких у ньому відсутня. Вирішальне правило (ВП), що розроблюється, повинно спільно класифікувати N вимірів з КО, що входять у каталог КО, та фонові об'єкти.

При синтезі ВП сумісної класифікації векторів РТ вимірів за критерій сумісної класифікації вимірів доцільно використати критерій Бейеса для максимізації середнього виграшу [6].

Кожна гіпотеза може бути описана у вигляді матриці ідентифікації $\gamma_m = \{\gamma_{ij}\}$, що складається з нулів і одиниць, де останні знаходяться на місцях можливої сумісної ідентифікації векторів РТ вимірів, що входить у дану гіпотезу (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця ідентифікації

	1-й вимір	2-й вимір	3-й вимір	N -й вимір
Фонові об'єкти	1	0	1	0
1-й об'єкт	0	1	0	0
.....
.....
Q -й об'єкт	0	0	0	1

Задача знаходження номера гіпотези \hat{m} про сумісну ідентифікацію векторів РТ вимірів еквівалентна задачі знаходження матриці ідентифікації $\hat{\gamma}_m$, який відповідає даному номеру гіпотези:

$$\hat{\gamma}_m = \arg \max \left\{ \ln C_{mm} + \ln P_m + \ln \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^Q \gamma_{m_{ij}} \ln \phi_{ij} \right\}$$

при таких обмеженнях:

$$\sum_{i=0}^Q \gamma_{ij} = 1; \quad \begin{cases} \sum_{j=1}^N \gamma_{ij} \leq 1 & \text{для } i = \overline{1, Q}, \\ \sum_{j=1}^N \gamma_{i0} \leq N & \text{для } i = 0, \end{cases}$$

де C_{mm} – елементи матриці вартості;

P_m – апіорна ймовірність m -ї гіпотези;

ϕ_{ij} – значення функції розподілу параметрів вектора РТ вимірів у точці з координатами \bar{x}_i за умови, що воно було породжено j -м об'єктом, який належить до m -ї гіпотези H_m .

Дані обмеження зумовлені тим, що всі виміри повинні бути проідентифіковані, тобто віднесені або до супроводжуваного КО, або до класу фонових об'єктів, крім того, один вектор РТ вимірів може бути проідентифікований тільки з одним КО, а об'єкту, що входить у каталог КО, може належати не більше одного виміру. Остання умова має сенс тільки для об'єктів, що входять у каталог КО, а для класу фонових такі обмеження відсутні.

Таким чином, завдання пошуку оптимальної гіпотези про сумісну ідентифікацію векторів РТ вимірів зведено до задачі знаходження матриці ідентифікації $\hat{\gamma}_m$, пошук якої проведено за допомогою модифікованого «угорського» методу [7].

У процесі імітаційного моделювання, результати якого наведені у вигляді графіків на рис. 1–2, аналізується процес ідентифікації вимірів, отриманих при супроводі складної цілі, елементами якої є КО із близькими параметрами траєкторій. При цьому здійснюється розрахунок імовірності помилкової ідентифікації двох порівнюваних методів.

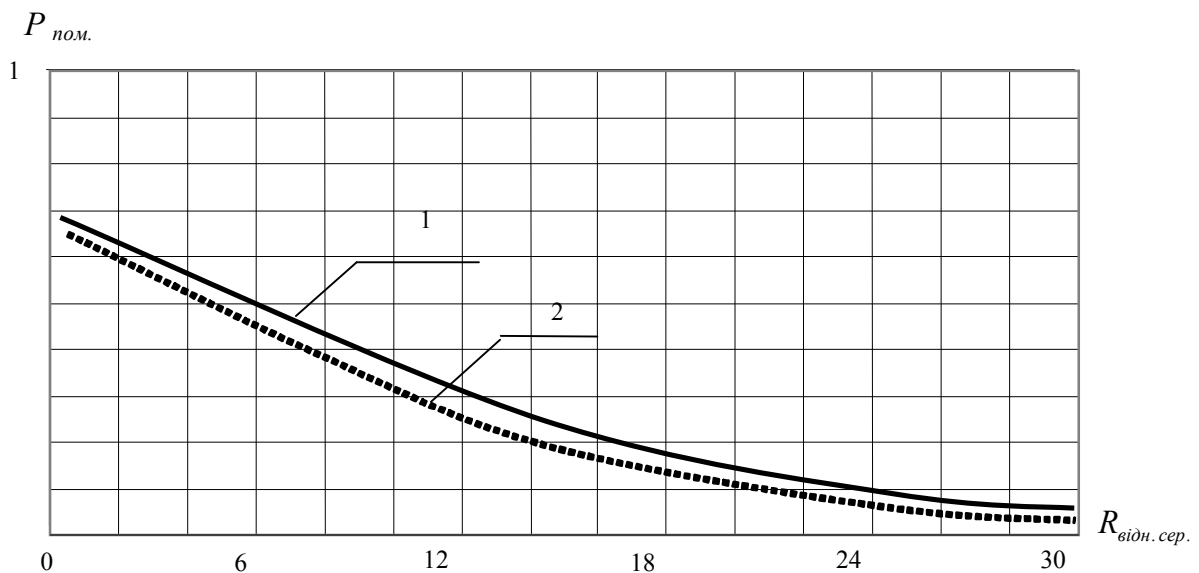


Рис. 1. Залежність помилок ідентифікації від відносної середньої відстані при трьох супроводжуваних КО (1 – метод максимального елемента, 2 – метод із сумісною ймовірнісною ідентифікацією даних)

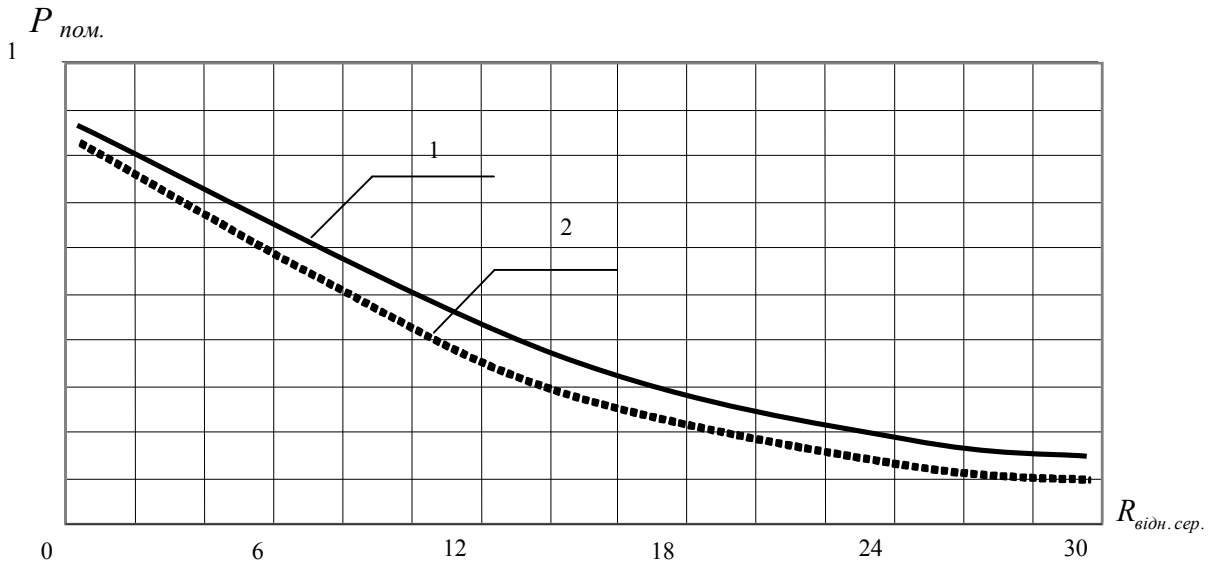


Рис. 2. Залежність помилок ідентифікації від відносної середньої відстані при шістьох супроводжуваних КО (1 – метод максимального елемента, 2 – метод із сумісною ймовірнісною ідентифікацією даних)

При порівняльному аналізі були використані методи з послідовним (максимального елемента) і паралельним (із сумісною ймовірнісною ідентифікацією даних) надходженням вимірів до процедури ідентифікації.

На даних рисунках зображено залежності ймовірності помилкової ідентифікації ($P_{пом.}$) від відносної середньої відстані ($R_{відн.сер.}$) при різній кількості супроводжуваних КО (від трьох до шести).

Слід зазначити, що при моделюванні за відносну середню відстань було взято середнє значення всіх можливих взаємних відносних відстаней між КО:

$$R_{відн.сер.} = \sum_{i=1}^N \frac{R_{відн.i}}{N},$$

де $N = C_2^Q$ – кількість варіантів сполучень з-поміж супроводжуваних об'єктів Q по два.

При цьому відносна відстань між двома об'єктами обчислюється таким чином:

$$R_{відн.} = \sqrt{\left(\overline{m}_{x_i} - \overline{m}_{x_j}\right)^T \times 2 \frac{K_i \cdot K_j}{K_i + K_j} \times \left(\overline{m}_{x_i} - \overline{m}_{x_j}\right)},$$

де \overline{m}_{x_i} , \overline{m}_{x_j} ; K_i , K_j – апріорні дані про параметри руху супроводжуваних КО.

Висновки. Таким чином, результати моделювання показують, що метод із сумісною ймовірнісною ідентифікацією координатної інформації порівняно з методом максимального елемента матриці правдоподібності має менші значення ймовірності помилкової ідентифікації векторів РТ вимірів.

На початковому етапі супроводу щільного потоку КО за невисоких значень відносної середньої відстані між ними, обидва методи мають низьку точність, зумовлену незначним розходженням значень функції правдоподібності про приналежність вимірів об'єктам. Однак при порівняльному аналізі даних методів можна відзначити кращу точність розв'язання задачі ідентифікації (на 1–3%) паралельним методом.

Зі збільшенням відносної середньої відстані між КО помітно підвищується ефективність методу із сумісною ймовірнісною ідентифікацією координатної інформації: відмінність у якості розв'язання задачі ідентифікації порівняно з послідовним методом становить близько 7–10%.

При значному розходженні супроводжуваних КО один від одного задача ідентифікації даними методами розв'язується з досить високою якістю, при цьому кращу точність знов демонструє метод з паралельним надходженням даних.

Зі збільшенням кількості супроводжуваних КО відбувається стійке погіршення якості розв'язання задачі ідентифікації, зумовлене збільшенням кількості можливих гіпотез про належність отриманих відміток КО.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з можливістю врахування в методах ідентифікації РТ вимірів з паралельним надходженням даних при супроводі близько розташованих КО імовірності їх нерозрізнення, що дасть змогу контролювати динаміку розходження КО на початковому етапі запуску, а також з розробкою методів із сумісною ідентифікацією РТ вимірів, отриманих на декількох сеансах спостереження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузьмин С. З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С. З. Кузьмин. – К. : Издательство «КВЦ», 2000. – 428 с.
2. Бакут П. А. Обнаружение движущихся объектов / П. А. Бакут, Ю. В. Жулина, Н. А. Иванчук. – М. : Советское радио, 1980. – 288 с.
3. Оценивание параметров движения маневрирующих объектов / Н. С. Гриценко, А. А. Кириченко, Т. А. Коломиец и др. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1983. – № 4. – С. 3–26.
4. Chang Kuo-Chu. Joint probabilistic data association for multitarget tracking with possibly unresolved measurements and maneuvers / Kuo-Chu Chang, Y. Bar-Shalom // IEEE Trans. on AC. – 1984. – Vol. 29. – № 7. – P. 585–594.
5. Forthmann T. E. Sonar tracking of multiple targets using joint probabilistic data association / T. E. Forthmann, Y. Bar-Shalom, M. Scheffe // IEEE Journal of oceanic engineering. – 1983. – Vol. 8. – № 3. – P. 173–193.
6. Деденок В. П. Аналитическая методика решения задачи совместной классификации совокупности измерений от группы космических объектов при наличии фоновых / В. П. Деденок, В. Е. Саваневич, С. В. Логачев // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов : сб. науч. трудов Гос. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Х. : ХАИ, 1999. – Вып. 17 (4). – С. 128–133.
7. Гольдштейн Е. Г. Задачи линейного программирования транспортного типа / Е. Г. Гольдштейн, Д. Б. Юдин. – М. : Наука, 1969. – 384 с.

Подано 16.08.13

С. В. Логачев, Г. В. Худов, Р. В. Дзюбчук

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ СОПРОВОЖДЕНИИ БЛИЗКОРАСПОЛОЖЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Проведен сравнительный анализ методов с параллельной и последовательной идентификацией радиотехнических измерений, полученных при сопровождении космических объектов для случая, когда они являются близкорасположенными, наведены результаты моделирования.

S. V. Logachov, G. V. Hudov, R. V. Dzyubchuk

THE RESEARCH OF THE METHODS FOR IDENTIFICATION OF RADIOTECHNICAL MEASUREMENTS ACCOMPANIED BY CLOSELY LOCATED SPACE OBJECTS

These measurements have been obtained when accompanied by closely located space objects. The results of modeling the process of identification of radiotechnical measurements received from space objects have been shown. The comparative analysis of the methods with parallel and sequential identification of radiotechnical measurements has been made.