

УДК 623.626

Ю.В. Глебов, Р.В. Світлик

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОЦІНКА ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДОВИХ ПРОГРАМИ ВЗЯТТЯ НА СУПРОВОДЖЕННЯ ПОСТАНОВНИКА АКТИВНИХ ЗАВАД МЕТОДОМ ТРИАНГУЛЯЦІЇ

Проводиться короткий опис найбільш поширеного на даний час в автоматизованих системах управління радіотехнічних військ алгоритму взяття на супроводження постановника активних завад (ПАЗ) методом триангуляції. Виділено основні функціональні частини алгоритму, для яких складено програми їх реалізації. Отримано, методом імітаційного моделювання, часові оцінки часу рішення кожної функціональної програми, які дозволяють визначити напрямки удосконалення алгоритму супроводження ПАЗ, побудованого на базі методу триангуляції.

Ключові слова: постановник активних завад, триангуляція, хибний перетин, кількість точок перетину, селекція істинних перетинів, вибір другого пеленга, час рішення задачі, пеленгатор.

Вступ

Постановка проблеми. Аналіз тактики бойового застосування авіації в початковий і наступні періоди збройних конфліктів показують, що нанесення ударів по важливим об'єктам, супроводжується широким застосуванням різного роду завад засобам протиповітряної оборони. При цьому найбільш широке застосування знаходять як прицільні по частоті та напрямку, так і загорджувальні завади. Для постановки завад залучаються як спеціалізовані літаки, так і досить малопотужні станції завад, що знаходяться на борту ударної авіації. Цілком природно, що в умовах масованого застосування противником активних, як правило, прямошумових завад, суттєво знижується ефективність бойового застосування засобів ППО, в першу чергу підрозділів радіотехнічних і зенітних ракетних військ.

Наявність засобів автоматизації на пунктах обробки радіолокаційної інформації і пеленгаційних каналів у складі РЛС дозволяє визначити місцезнаходження постановників активних завад і вжити заходи щодо їх знищення. Визначення координат постановників завад в системах активної локації, як правило, здійснюється за допомогою триангуляційного методу. На даний час, практично на всіх пунктах обробки радіолокаційної інформації, при можливості отримати пеленги на постановники завад з рознесених у просторі пеленгаторів, програма триангуляції входить до складу програмного забезпечення. Однак, слід відмітити, що визначення координат постановників активних завад, і подальше їх супроводження, суттєво знижує продуктивність обчислювальної системи, що в свою чергу може призвести до зниження якості бойової інформації, яка видається. Тому, задача скорочення часових затрат на виявлення та супроводження постановників активних завад, залишається актуальною при розробці комплексів засобів автоматизації для пунктів управління Повітряних Сил.

Аналіз літератури. Висока трудомісткість триангуляційного методу визначення координат постановників завад пов'язана з наступними факторами:

- наявність у просторі одночасно достатньо великої кількості постановників активних завад;
- зміна положення постановників завад в просторі з часом;
- асинхронність роботи пеленгаторів;
- наявність бокових пелюсток у діаграм направленості антен радіолокаційних станцій;
- наявність досить великих помилок визначення пеленгів на постановники завад.

Сама по собі задача визначення координат місця знаходження об'єкта методом засічок (триангуляції) не являється новою, і знаходить застосування в різних сферах діяльності. Складнощі її рішення давно відомі, запропоновані та реалізовані методи їх подолання. Деякі із них застосовані і в алгоритмах виявлення та супроводження постановників активних завад триангуляційним методом в комплексах засобів автоматизації радіотехнічних військ. Вказані алгоритми були розроблені при створенні перших зразків автоматизованих систем обробки радіолокаційної інформації і управління засобами, і переносяться із системи в систему, практично не зазнаючи ніяких змін. Необхідність заміни наявних на озброєнні Повітряних Сил систем автоматизації управління через їх фізичне старіння, робить можливим перегляд методики побудови окремих частин алгоритму виявлення і супроводження траєкторій постановників активних завад.

Метою статті є оцінка та аналіз часу реалізації складових частин алгоритму виявлення та супроводження постановників активних завад в залежності від кількості пунктів прийому, їх розміщення на місцевості та кількості ПАЗ; визначення можливих напрямків скорочення часових затрат на обробку пеленгової інформації в комплексах засобів автоматизації радіотехнічних підрозділів.

Основний матеріал

Для визначення шляхів можливого вдосконалення алгоритму виявлення і супроводження траєкторії розглянемо схематично алгоритм рішення даної задачі, що реалізований в комплексі засобів автоматизації 5Н60 [6].

Алгоритми виявлення і супроводження постановників активних завад, реалізовані в комплексах засобів автоматизації 5Ш51, 5Н60, 5Н55М (АСУ радіолокаційного вузла "Межа"), розроблялися однією проектною організацією і, тому, по структурі абсолютно однакові. У складі існуючого алгоритму, можна виділити особливий блок програм виявлення і супроводження пеленгів на постановники активних завад і приведення пеленгів, що супроводжується, до єдиного часу і до єдиної системи координат. Ідея його побудови достатньо очевидна і навряд чи може бути суттєво покращена. Більше питань викликає блок програм вибору «другого пеленга» для рішення задачі триангуляції, блок програм селекції «істинних» точок перетину пеленгів і блок програм уточнення і згладження координат і параметрів руху ПАЗ. Ці алгоритми на даний час знаходяться дещо відокремлено від алгоритмів вторинної обробки радіолокаційної інформації. Крім того, вони являються найбільш «затратною» частиною алгоритму триангуляції стосовно радіолокації.

Розглянемо більш детально ці частини обробки пеленгової інформації в інтересах виявлення і супроводження трас постановників активних завад. Задачу будемо розглядати для випадку, коли на пункт обробки РЛШ надходять пеленги від декількох пеленгаторів (підрозділів), а в межах радіолокаційного поля, що утворюється на основі даних підрозділів, одночасно знаходяться декілька постановників активних завад. При цьому будемо вважати, що пеленги приведені до єдиного моменту часу і єдиної системи координат. Операції приведення до єдиного часу і перерахунок пеленгів в систему координат пункту обробки інформації повинні бути присутніми при будь-якій методиці рішення задачі виявлення і супроводження ПАЗ.

Як відомо, вимірювання будь-якої величини, в тому числі і визначення пеленга на ПАЗ, здійснюється з помилками. Помилки визначення пеленгів поділяються на систематичні і випадкові. Виникнення систематичних помилок при визначенні пеленга пов'язано з похибками топоприв'язки елементів бойового порядку та помилками орієнтування антен РЛС. На даний час існує достатня кількість методик, які дозволяють звести систематичні складові помилок вимірювання пеленгів практично до нуля. Тому вони в подальшому не розглядаються. Випадкова складова помилки визначення пеленга пов'язана з впливом на процес вимірювання великого числа випадкових факторів і тому мають нормальний закон розподілу. Виявлення ПАЗ і їх супроводження найбільш зручно проводити в прямокутній системі координат. Помилки визначення коор-

динат точки перетину двох пеленгів в цьому випадку також мають нормальний закон розподілу, який може бути отриманий, виходячи із таких міркувань.

Припустимо, що існують два джерела інформації, які видають азимутальні пеленги на ПАЗ. Зобразимо сектори можливого знаходження ПАЗ шириною $\Delta\beta$, що дорівнює середньоквадратичній помилці вимірювання пеленга (рис. 1). Враховуючи те, що помилка визначення пеленга мала, а відстань до ПАЗ значна, можна вважати, що фігура ABCD, отримана при перетині секторів, являється паралелограмом. В цьому випадку можна вважати, що помилка визначення місцезнаходження об'єкта визначається розміром діагоналей u та v паралелограма.

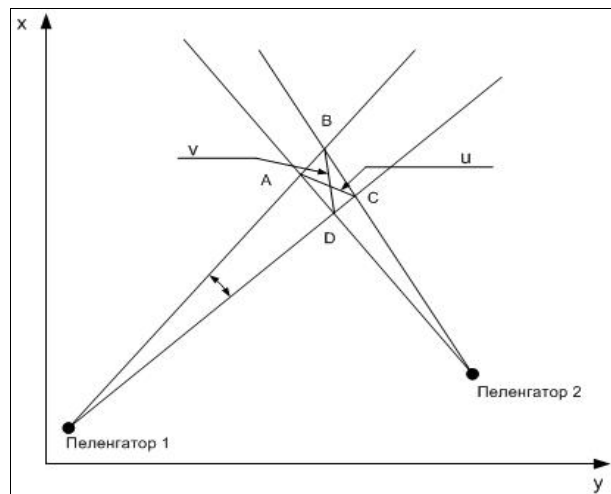


Рис. 1. До визначення середньоквадратичної помилки положення ПАЗ

Цілком очевидно, що розмір діагоналей є випадковою величиною, а величини U та V являються незалежними випадковими величинами, розподіленими по нормальному закону. Сумісна щільність ймовірності цих величин буде мати вигляд:

$$f(u, v) = \frac{1}{2\pi\delta_u\delta_v} e^{-1/(2(u^2/\delta_u^2 + v^2/\delta_v^2))}, \quad (1)$$

де $\delta_u = \delta_\beta d_1$; $\delta_v = \delta_\beta d_2$; d_1 і d_2 – відстань від першого і другого пеленгаторів до центра паралелограма; δ_β – середньоквадратичне відхилення пеленга.

В цьому випадку величина середньоквадратичної помилки визначення місцезнаходження ПАЗ буде визначатися виразом [3]:

$$\delta_r = \frac{\delta_\beta}{|\sin(\theta)|} \sqrt{d_1^2 + d_2^2}, \quad (2)$$

де θ – кут перетину пеленгів на ПАЗ.

При наявності більше двох пеленгів на постановник завади виникає проблема вибору пари пеленгів для визначення точки знаходження ПАЗ. При цьому цілком природне бажання взяти таку пару, яка потенційно забезпечувала б мінімум помилки місцезнаходження. Для цього, необхідно поррахувати значення функції (2) для всіх можливих пар пеленгів і вибрати

ту пару, яка забезпечує мінімум її значення. Процес рішення даної задачі достатньо трудомісткий, тому обрано наближений метод вибору пари пеленгів.

Аналіз виразу для середньоквадратичної помилки визначення місця розташування постановника заводи показує, що вона залежить від кута перетину пеленгів і від відстані між джерелами інформації та точкою перетину пеленгів: чим ближче кут перетину пеленгів до прямого кута і менше величина $(d_1^2 + d_2^2)$, тим точніше визначається місце розташування джерела заводи. Величину $(d_1^2 + d_2^2)$ для скорочення обсягу розрахунків в першому наближенні можна замінити відстанню між радіотехнічними батальйонами. Подальшим спрощенням задачі являється припущення про те, що визначальне значення має кут перетину пеленгів. Це обґрунтовується тим, що в діапазоні ефективного подавлення постановником завод РЛС, дальність до нього змінюється в 10 – 15 раз, в той час як $\sin \theta$, знаходячись в знаменнику, приводить до більш суттєвих змін величини δ_r .

Також слід відмітити, що задача визначення місця розташування джерела завод значно ускладнюється при наявності в просторі декількох джерел завод. У цьому випадку виникають точки перетину пеленгів, у яких насправді немає постановників завод. Кількість всіх можливих точок перетину розраховується за формулою:

$$k = n^2 \cdot \sum_{i=1}^{m-1} (m-i), \quad (3)$$

де n – кількість ПАЗ; m – кількість пунктів прийому.

Виникає додатково задача відсіювання «зайвих» точок перетину. Для цього використовуються дані від інших джерел інформації. Можна показати, що для підтвердження істинності належності точки перетину місцю розташування джерела завод, необхідно брати джерела найбільш віддалені від цієї точки.

Із вищесказаного випливає, що задача виявлення та подальшого супроводження постановника активних завод за даними, що отримані від активних РЛС кругового огляду може бути представлена послідовною реалізацією декількох окремих процедур, кожна з яких вимагає значних затрат часу. Тому, з метою виявлення можливих напрямків скорочення часових затрат на обробку пеленгової інформації важливим є отримання аналітичної залежності часу реалізації окремих алгоритмів від кількості пеленгаторів, їх розміщення на місцевості та кількості постановників активних завод в районі бойових дій угруповання РТВ.

Для отримання таких оцінок, була розроблена програма моделювання процесу обробки пеленгової інформації, що реалізована в сучасних комплексах засобів автоматизації РТВ. У програмі передбачена реєстрація наступних параметрів процесу обробки пеленгової інформації:

- загальна кількість точок перетину пеленгів;
- кількість помилкових перетинів пеленгів;
- кількість помилкових підтверджень істинності точки перетинів;

- час пошуку «парного» пеленга для визначення координат точки знаходження ПАЗ;
- сумарний час, який витрачається на розрахунок координат точок перетину всіх пеленгів;
- середній час, який витрачається на пошук підтвердження істинності точки перетину;
- час, який витрачається на виявлення помилковості точки перетину.

У програмі передбачена можливість варіації бойового порядку підрозділів РТВ, щільності постановників активних завод у просторі, дальності пеленгації, точності пеленгації та кількості постановників активних завод у межах відповідальності угруповання РТВ. На даному етапі проводилося дослідження вищеперерахованих параметрів алгоритму триангуляції при наступних вхідних даних:

1. Кількість підрозділів у складі угруповання – 9.
2. Підрозділи розташовані у вершинах рівносторонніх трикутників, сторони яких дорівнюють дальності виявлення РЛС бойового режиму.
3. Дальність пеленгації дорівнює 1,5 дальності виявлення РЛС бойового режиму.
4. Постановники активних завод знаходяться всередині бойового порядку.
5. Постановники активних завод ставлять широкосмугові шумові заводи (придушуються всі РЛС угруповання в межах зони дії ПАЗ).
6. Кількість ПАЗ варіюється в діапазоні від 4 до 20.

Результати дослідження наведені у формі графіків (рис. 2 – 4). Аналіз отриманих результатів показує:

- загальна кількість точок перетину пеленгів нелінійно залежить від числа ПАЗ, але значно менша кількості, що отримана за оціночною формулою;
- характер зміни числа хибних перетинів за формою практично повторює характер зміни загальної кількості точок перетину;
- починаючи з 14 – 16 ПАЗ в бойових порядках угруповання починає різко зростати кількість помилкових підтверджень істинності точки перетину, що в подальшому призведе до зав'язування помилкових трас ПАЗ і спотворення повітряної обстановки.

Аналіз часових характеристик алгоритму показує (рис. 3, 4):

- часові затримки на вибір другого пеленга для визначення координат точки перетину мало залежать від числа ПАЗ, і за абсолютною величиною істотно менші затрат часу на вирішення інших завдань;
- закон зміни часу розрахунку точок перетину всіх отриманих пеленгів у проведеному діапазоні зміни кількості ПАЗ є практично лінійним або показниковим з незначною відмінністю показника степені від 1;
- часові затрати на підтвердження істинності точки перетину пеленгів перевищують часові затрати на визначення координат точок перетину пеленгів. При цьому затрати часу на підтвердження хибності перетину значно перевищує затрати на підтвердження істинності перетину.

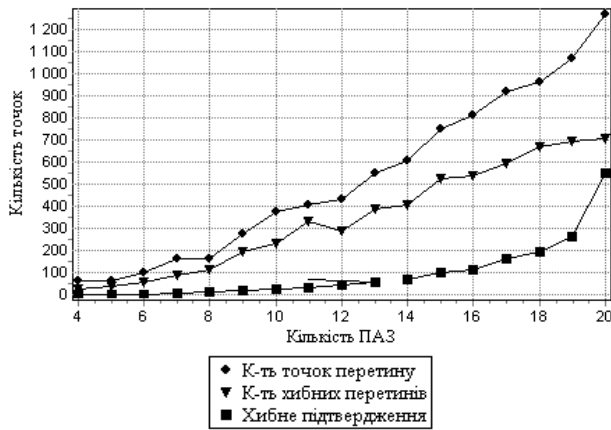


Рис. 2. Кількісні показники складності задачі перетину пеленгів

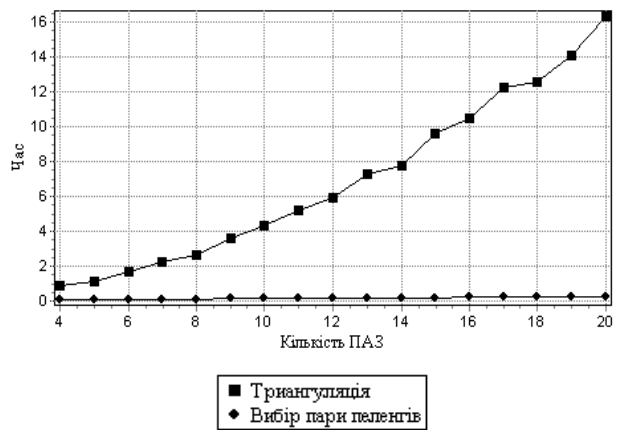


Рис. 3. Час розрахунку координат всіх точок

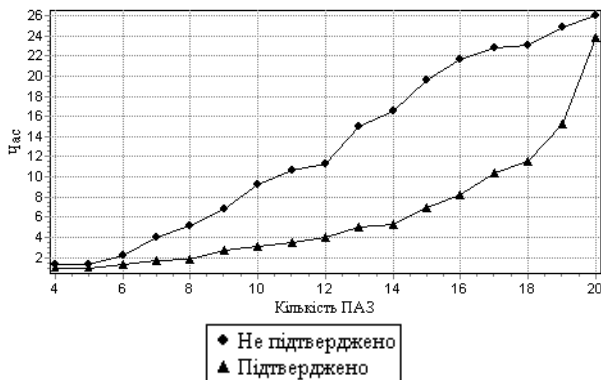


Рис. 4. Часові затрати на підтвердження істинності точки перетину пеленгів

Висновки

Таким чином проведені дослідження показали, що часові затрати на виявлення істинного місця розташування ПАЗ алгоритмом триангуляції істотно залежать від кількості постановників активних завад, при цьому найбільш значний внесок дає перевірка істинності координати точки перетину.

ОЦЕНКА ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММЫ ВЗЯТИЯ НА СОПРОВОЖДЕНИЕ ПОСТАНОВЩИКА АКТИВНЫХ ПОМЕХ МЕТОДОМ ТРИАНГУЛЯЦИИ

Ю.В. Глебов, Р.В. Свитлык

Приводится краткое описание наиболее распространенного в настоящее время в автоматизированных системах управления радиотехнических войск алгоритма взятия на сопровождение постановщика активных помех (ПАП) методом триангуляции. Выделены основные функциональные части алгоритма, для которых составлены программы их реализации. Получено методом имитационного моделирования временные оценки времени решения каждой функциональной программы, которые позволяют определить направления совершенствования алгоритма сопровождения ПАП, построенного на базе метода триангуляции.

Ключевые слова: постановщик активных помех, триангуляция, ложное пересечение, количество точек пересечения, селекция истинных пересечений, выбор второго пеленга, время решения задачи, пеленгатор.

EVALUATION OF TIME PARAMETERS OF PROGRAM COMPONENTS FOR SOURCE TRACKING OF ACTIVE JAMMING WITH TRIANGULATION METHOD

Y. V. Glebov, R. V. Svitlyk

A brief description of the present most commonly used algorithm for tracking source of active jamming with triangulation method in automated control systems of radio-technical troops algorithm is provided. Algorithm basics are explained and implemented in software applications. With the simulation approach time estimations of decision period of each function program are obtained, which allows to identify ways of improving the algorithm for AJS (active jamming source) tracking, that is based on the triangulation method.

Keywords: active jamming source, triangulation, false intersection, the number of intersection points, selection of the true intersections, choosing the second bearing, decision period, direction finder.

Список літератури

1. Радиотехнические системы: учебник для студ. высш. учебных заведений / [Ю.М. Казаринов и др.]; под ред. Ю.М. Казаринова. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 592 с.
2. Современная радиолокация (анализ, расчет и проектирование систем) / Пер. с англ.; под ред. Ю.Б. Кобзарева. — М.: Сов. радио, 1969. — 704 с.
3. Справочник по основам радиолокационной техники / Под ред. В.В. Дружинина. — М.: Воениздат, 1967. — 768 с.
4. Ширман Я. Д. Теоретические основы радиолокации / Я.Д. Ширман. — М.: Сов. радио, 1970. — 560 с.
5. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: Учебное пособие для вузов / Ю.Г. Сосулин. — М.: Радио и связь, 1992. — 304 с.
6. Автоматизовані системи управління радіотехнічних військ: навч. посібник / [А.П. Багаєв, В.В. Ковкин, В.І. Боровий та ін.]. — Х.: ХУПС, 2009. — 168 с.

Надійшла до редколегії 24.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Кузнецов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.