

Розвиток, бойове застосування та озброєння радіотехнічних військ

УДК 621.391

А.А. Гризо, І.М. Невмержицький, В.В. Монастирний

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

УДОСКОНАЛЕННЯ ВТОРИННОЇ ОБРОБКИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В РЛС 19Ж6

Стаття присвячена розробці пропозицій щодо удосконалення вторинної обробки радіолокаційної інформації в РЛС 19Ж6. Проаналізовано алгоритм супроводження та згладжування координат, що реалізовано у РЛС 19Ж6, показано, що існує потенційна можливість покращення якості радіолокаційної інформації за рахунок зміни системи координат, в якій обробляються радіолокаційні данні, оптимізації вагових коефіцієнтів та додаткового введення на ділянці маневру фільтру ковзного згладжування другого порядку. Якість роботи фільтрів згладжування оцінена шляхом імітаційного моделювання. На підставі результатів імітаційного експерименту, надаються пропозиції щодо покращення вторинної обробки радіолокаційної інформації в РЛС 19Ж6.

Ключові слова: радіолокаційна станція, згладжування координат, вторинна обробка, радіолокаційна інформація.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасні РЛС з цифровою обробкою радіолокаційної інформації (РЛІ) дозволяють додатково покращити її якість, шляхом проведення вторинної обробки. Це дозволяє знизити вірогідність пропуску цілі та величину випадкових похибок виміру координат [1].

Оглядова РЛС 19Ж6, яка є найбільш масовою на теперішній час у військах РТВ та широко використовується у складі окремих маловисотних взводів в зоні АТО, за часом розробки відноситься до 70–80-х років ХХ ст. Конструктори реалізовували технічні рішення з урахуванням обмежень, що накладала обрана елементна база (мікросхеми та мікрообробки 3 та 4 рівнів інтеграції).

Вторинна обробка у РЛС проводиться зі значними спрощеннями, наприклад, використовується фільтр згладжування тільки першого порядку, а для уникнення динамічної похибки на ділянці маневру обмежується пам'ять фільтра, або зовсім відмовляються від згладжування вимірів. Вагові коефіцієнти фільтру обрано неоптимальними для забезпечення зручності виконання операції множення.

В РЛС 19Ж6 супроводження цілей здійснюється в неповній сферичній системі координат азимутальність. В основу вирішення завдань вторинної обробки РЛІ покладена модель лінійної зміни параметрів руху повітряного об'єкта (ПО), тобто дальності r й азимута β [2]:

Прийнята модель відповідає спіральній траєкторії руху ПО з центром спіралі в точці розташування РЛС. Реальні ж траєкторії ПО на 80...90 % є лінійними траєкторіями з постійною курсовою швидкістю. Така розбіжність між прийнятою моделлю руху і реальною поведінкою ПО впливає на точність їх супроводження, але конструктори пішли на це свідомо, бо істотно спрощуються всі розрахунки, пов'язані зі вторинною обробкою РЛІ. Вважається, що в процес супроводу завжди може втрутитися оператор і внести відповідні корективи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вторинна обробка радіолокаційної інформації за рахунок згладжування параметрів трас дозволяє значно зменшити похибки виміру просторових координат. Існує велика кількість фільтрів згладжування [1; 3]. Усі вони синтезовані в певному припущенні щодо закону розподілу похибок виміру координат та моделі руху ПО. Якщо обрана гіпотеза не відповідає дійсному положенню виникають додаткові похибки, тобто фільтр, навпаки, збільшує сумарну похибку виміру координат. Характерною рисою більшості методів згладжування параметрів є використання для одержання оцінок всіх спостережених даних від початку супроводження до моменту останнього виміру [1; 3].

Такий підхід, поряд з очевидними перевагами при згладжуванні детермінованої траєкторії, має й істотні недоліки, особливо при супроводженні цілей, що роблять непередбачений маневр. При цьому особливо неприємними є випадки, коли ціль робить

невеликі по інтенсивності маневри, типу випадкових коливань навколо заданої траєкторії польоту, які не можуть бути виявлені й враховані.

Як варіант боротьби із цим недоліком пам'ять фільтра, що згладжує, можна обмежити заздалегідь, шляхом фіксації коефіцієнтів згладжування («альфа-бета» фільтри). У процесі згладжування параметрів фільтром з постійною пам'яттю має місце як би послідовний перегляд обмеженої ділянки траєкторії в «ковзному вікні» з фіксованою довжиною [1].

Метою статті є розробка пропозицій з удосконалення вторинної обробки РЛП в РЛС 19Ж6 за рахунок вибору порядку фільтра згладжування, оптимального значення коефіцієнтів згладжування та зміни системи координат, у якій проводиться обробка.

Основна частина

Проведений аналіз алгоритму згладжування координат, що реалізовано у РЛС 19Ж6, показав, що використовується фільтр згладжування координат, що відноситься до фільтрів ковзного згладжування I-го порядку з обмеженою пам'яттю, так званий « α - β »-фільтр [1], в технічному описі він має назву фільтр «експоненційного згладжування». Згладжування ведеться в координатах дальність (r) та азимут (β). Вирази для обчислення згладжених значень приростів координат у РЛС 19Ж6 мають вигляд [2]:

$$\begin{aligned} \Delta r_n^3 &= \Delta r_{n-1}^3 + \alpha_2 (r_n^b - r_n^c); \\ \Delta \beta_n^3 &= \Delta \beta_{n-1}^3 + \alpha_2 (\beta_n^b - \beta_n^c). \end{aligned} \quad (1)$$

Екстрапольовані на наступний крок значення координат:

$$\begin{aligned} r_{n+1}^c &= r_n^c + \alpha_1 (r_n^b - r_n^c) + \Delta r_n^3; \\ \beta_{n+1}^c &= \beta_n^c + \alpha_1 (\beta_n^b - \beta_n^c) + \Delta \beta_n^3, \end{aligned} \quad (2)$$

де r_n^3 ; β_n^3 ; Δr_n^3 ; $\Delta \beta_n^3$ – згладжені значення координат і приростів координат на n -му кроці;

r_n^c ; β_n^c – екстрапольовані значення координат на n -й крок;

r_n^b ; β_n^b ; Δr_n^b ; $\Delta \beta_n^b$ – виміряні значення координат і приростів координат на n -му кроці;

α_1 ; α_2 – коефіцієнти згладжування координат та приростів координат відповідно.

При використанні цих співвідношень достатньо мати поточні вимірювання координат r_n^b ; β_n^b , а за попередній крок зберігати лише згладжені значення приростів координат Δr_{n-1}^3 ; $\Delta \beta_{n-1}^3$ та результат екстраполяції r_n^c ; β_n^c .

Коефіцієнти згладжування $\alpha_1 = 0,75$ ($0,75 = 1/2 + 1/4$) і $\alpha_2 = 1/2$ вибрані так, щоб забезпечити ефективне згладжування оцінок координат і

звести операцію множення до простого зсуву розрядів множника.

При обраних значеннях коефіцієнтів α_1 ; α_2 фільтр згладжування здійснює ефективне інтегрування (має пам'ять) тривалістю (3...4) T_0 , де T_0 – період оновлення інформації (період огляду простору). Використання фільтра з відносно короткою пам'яттю дещо погіршує точність супроводження цілей, координати яких змінюються лінійно, але робить фільтр чутливим до маневру цілі.

Останній фактор є важливішим з огляду на те, що прийнята з метою спрощення розрахунків модель лінійної зміни азимута й дальності цілі не відповідає поведінці реальних повітряних об'єктів. Дійсно, усі цілі, які рухаються в просторі рівномірно та прямолінійно (крім тих, що летять прямо на РЛС, тобто з нульовим параметром), для реалізованого в РЛС 19Ж6 фільтра згладжування є маневруючими.

Таким чином, існує потенційна можливість покращити якість вторинної обробки реалізованої в РЛС 19Ж6 за рахунок зміни системи координат (з полярної на декартову), в якій обробляється РЛП. Це дозволить привести у відповідність модель руху цілі і характер зміни координат реальних цілей і тим самим позбутися динамічної похибки, а також вибору оптимальних значень коефіцієнтів згладжування.

Для оцінки похибок згладжування координат і вибору оптимальних значень коефіцієнтів згладжування використовувався метод імітаційного моделювання з використанням моделі вторинної обробки РЛП [4; 5]. Модель дозволяє моделювати процес виміру координат ПО та обробляти їх фільтрами згладжування першого та другого порядку (гіпотеза руху ПО за кривою першого та другого порядку, відповідно) [1] у декартових координатах та фільтром ковзного згладжування першого порядку з обробкою у неповній сферичній системі координат (по типу РЛС 19Ж6) [2]. Якість згладжування оцінювалась за відношенням значення середньоквадратичного відхилення згладжених координат на виході фільтра до значення середньоквадратичного відхилення виміру координат.

На рис. 1 зображена траєкторія цілі типу винищувач та результат обробки фільтром I-го (крива 1) та II-го порядку (крива 2) у координатах x , y , а також по типу РЛС 19Ж6 (крива 3).

Траєкторія являє собою маневр розворот. Ціль рухається рівномірно прямолінійно. Потім здійснюється розворот на 180° з перевантаженням близько $8g$. Номери біля позначок вказують номер огляду на якому отримано позначку.

На ділянці маневру спостерігається значне зростання динамічної похибки згладжування внаслідок неспівпадіння гіпотези руху при обробці фільтром I-го порядку.

При обробці фільтром II-го порядку динамічна похибка відсутня, фільтр добре відслідковує маневр. Обробка по типу реалізованої у РЛС 19Ж6, очікуємо, дає проміжний результат. Динамічна похибка, практично відсутня. Це досягається зменшенням пам'яті фільтра.

На рис. 2 зображено величини похибок для усіх розглянутих фільтрів.

По осі ординат відкладено номер відмітки, а по осі абсцис середньоквадратичне відхилення похибки на виході фільтра (σ) віднесене до середньоквадратичного відхилення похибки виміру координат (σ_B).

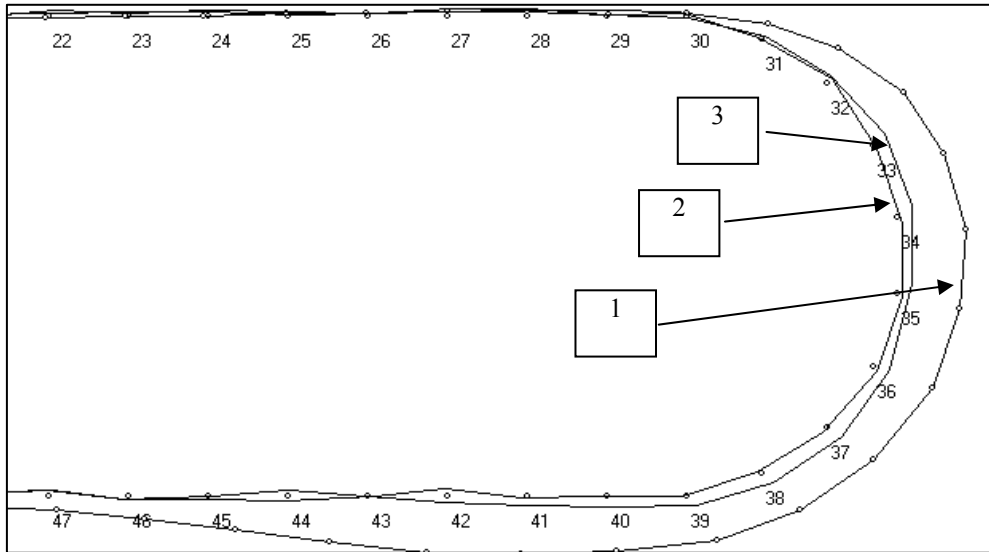


Рис. 1. Траєкторія руху повітряного об'єкту

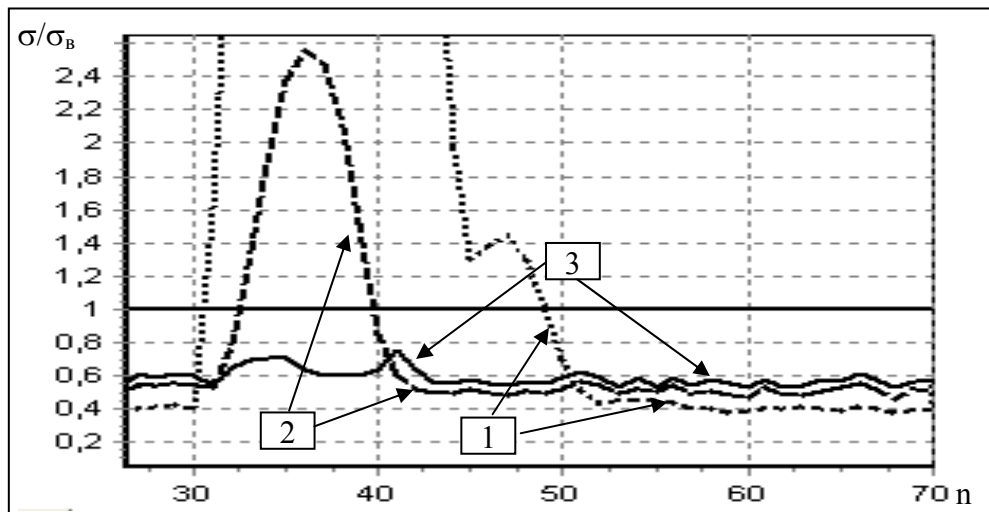


Рис. 2. Відносна похибка згладжування координат

Крива 1 відповідає фільтру згладжування I-го порядку у координатах x, y . Бачимо, що на ділянці рівномірного руху ($n > 40$) фільтр забезпечує зменшення похибок приблизно до рівня 0,4 від похибки виміру координат.

На ділянці маневру ($n = 29 \dots 40$) внаслідок появи динамічної складової похибки, сумарна похибка значно зростає і сягає 7.

Фільтр II-го порядку (крива 2) не має динамічної похибки на ділянці маневру та забезпечує точність 0,5...0,7. Але на ділянці прямолінійного руху він забезпечує гірший результат ніж фільтр I-го порядку у координатах x, y , бо внаслідок закладеної моделі руху

кожна випадкова зміна координат сприймається як початок маневру та відстежуються фільтром.

Крива 3 відповідає випадку використання фільтра I-го порядку у координатах r, β , за умови вибору вагових коефіцієнтів як у РЛС 19Ж6, він забезпечує менше покращення точності виміру координат, до 0,5...0,6 від похибки виміру координат. Фільтру властива динамічна похибка, яка виникає внаслідок розбіжності закладеної лінійної моделі зміни параметрів траєкторії і нелінійного реального характеру зміни полярних координат цілі. З урахуванням обмеженої пам'яті фільтра таке знехтування є припустимим. На ділянці маневру від згладжування взагалі відмовляються у зв'язку із значним зростанням динамічної похибки [2].

Висновки

Таким чином, якість вторинної обробки в РЛС 19Ж6 можливо покращити шляхом зміни полярної системи координат на декартову у фільтрі згладжування координат РЛС 19Ж6 та вибором оптимальних значень вагових коефіцієнтів [1].

Це дозволяє отримати вираш у точності виміру координат на 15...20% на ділянці прямолінійного руху у порівнянні з існуючим алгоритмом.

Введення додаткового фільтра згладжування II-го порядку [1], який буде працювати на ділянці маневру, дозволить покращити точність виміру координат на 10–15%.

Такий фільтр вільний від динамічних похибок і дозволить покращити точність координат, що видаються споживачам, а також уникнути пропуску цілі на ділянці маневру завдяки використанню екстрапольованих значень.

Така побудова пристрою вторинної обробки радіолокаційної інформації вимагає додаткового введення пристрою виявлення маневру, за командою якого буде здійснюватися перемикання виходів фільтрів згладжування.

Це питання потребує окремого розгляду, наприклад, можливо виявляти маневр по зростанню віддалення екстрапольованого значення від вимірюваного.

Список літератури

1. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С.З. Кузьмин. – К.: Издательство КПЦ, 2000. – 428 с.
2. Озброєння та військова техніка РТВ. Побудова РЛС 19Ж6: навч. посіб. Ч. 2 / Б.В. Бакуменко, Д.А. Гриб, А.А. Гризо та ін.; за ред. В.Й. Климченка. – Х.: ХУПС, 2010. – 236 с.
3. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория: справочн. Изд. 2-е перераб. и доп. / под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
4. Зюкин В.Ф. Потенциальные возможности по селекции в обзорных РЛС трасс целей при наличии дискретных (целеподобных) мешающих отражений / В.Ф. Зюкин, Д.А. Гриб, А.А. Гризо // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2007. – Вып. 1(59). – С. 44-47.
5. Зюкин В.Ф. Повышение качества селекции в обзорных РЛС трасс целей за счет использования сигнальной информации / В.Ф. Зюкин, Д.А. Гриб, А.А. Гризо // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2007. – Вып. 2(14). – С. 66-71.

Надійшла до редколегії 20.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. Г.В. Худов, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В РЛС 19Ж6

А.А. Грызо, И.М. Невмержицкий, В.В. Монастирный

Статья посвящена разработке предложений по усовершенствованию вторичной обработки радиолокационной информации в РЛС 19Ж6. Проанализирован алгоритм сопровождения и сглаживания координат, который реализован в РЛС 19Ж6, показано, что существует потенциальная возможность улучшения качества радиолокационной информации за счет смены системы координат, в которой обрабатываются радиолокационные данные, оптимизации взвешивающих коэффициентов, и за счет дополнительного введения на участке маневра фильтра скользящего сглаживания второго порядка. Качество работы фильтров сглаживания оценено путем имитационного моделирования. На основании результатов имитационного эксперимента, сформулированы предложения по улучшению вторичной обработки радиолокационной информации в РЛС 19Ж6.

Ключевые слова: радиолокационная станция, сглаживание координат, вторичная обработка, радиолокационная информация.

IMPROVEMENT OF THE SECONDARY TREATMENT OF RADIO-LOCATION INFORMATION IN 19Ж6 RADAR

A.A. Grizo, I.M. Nevmerzhiцкий, V.V. Monastirniy

The article is devoted development of suggestions on the improvement of the secondary treatment of radio-location information in 19Ж6 radar. The algorithm of accompaniment and smoothing out of coordinates is analysed, which is realized in 19Ж6 radar, it is rotined that exists potential possibility of improvement of quality of radio-location information due to changing of the system of co-ordinates radio-location information, optimizations of weighing coefficients, is processed in which, and due to additional introduction on the area of manoeuvre of filter of the sliding smoothing out the second order. Quality of work of filters of smoothing out is appraised by an imitation design. On the basis of results of imitation experiment, formulated suggestion on the improvement of the econdary treatment of radio-location information in 19Ж6 radar.

Keywords: radar, smoothing out of coordinates, second treatment, radio-location information.