

УДК 623.74

КОКОРЕВ О.С., провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук, доцент
ТАРАНЕНКО В.В., начальник науково-дослідного відділу, кандидат технічних наук
ДАНИЛОВ М.М., старший науковий співробітник
ГОРДІЄНКО О.А., інженер I категорії

КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД ПРИЦІЛЮВАННЯ ПО РУХОМИХ ЦІЛЯХ

Авторами запропонований комбінований метод прицілювання по рухомих цілях за рахунок спільного використання напівсинхронного і з «попередньою засічкою» способів вирішення задачі прицілювання

На сьогоднішній день, для вирішення задачі прицілювання по рухомих цілях можуть бути використані різні способи – синхронний, напівсинхронний та інші.

Але, як показує досвід, застосування синхронного способу для прицілювання по повітряних і рухомих наземних цілях – надзвичайно складне завдання для льотчиків. Основна складність прицілювання при цьому полягає в необхідності супроводження цілі рухомою прицільною маркою протягом деякого часу.

Через неузгодженість динамічних характеристик літального апарату (ЛА), прицілу і льотчика практично виключається можливість виконання синхронізації для вирішення задачі прицілювання. Значно простіше для льотчиків виконати синхронізацію рухомих цілей нерухомою (фіксованою) відносно ЛА прицільною маркою. Такий режим прицілювання називається напівсинхронним.

Основним недоліком напівсинхронного способу прицілювання є невисока точність через зміну величини сумарної кутової поправки за час уточнення прицілювання після виконання синхронізації нерухомою прицільною маркою, попередньо відхиленою на кут, що не дорівнює сумарній поправці.

На цей час на ЛА широко застосовується для прицілювання по рухомих цілях спосіб прицілювання з «попередньою засічкою» (ПЗ), що забезпечує точне вирішення задачі прицілювання по рухомих цілях при гіпотезі про незмінність вектора швидкості їхнього руху.

При русі цілі зі змінною швидкістю або при русі по криволінійній траєкторії мають місце методичні помилки через неврахування прискорення цілі в алгоритмах прицілу. Точність вирішення задачі прицілювання по цілях, що маневрують, можна суттєво підвищити шляхом урахування прискорення цілі при гіпотезі про незмінність вектора прискорення цілі. Це досягається у разі спільного використання напівсинхронного і ПЗ способів вирішення задачі прицілювання. У цьому випадку, при синхронізації рухомої цілі нерухомою прицільною маркою, вимірюються початкові

значення шуканих величин (складові кутової швидкості лінії візирування цілі, складові вектора швидкості цілі), а при використанні режиму ПЗ обчислюються середні (усереднені) значення цих величин. На основі початкових і середніх значень змінних величин можна визначити їх поточне значення при гіпотезі про сталість вектора їх прискорення.

Отримаємо математичні залежності для вирішення задачі прицілювання методом ПЗ при гіпотезі про незмінність вектора швидкості цілі, тобто при гіпотезі $\bar{V}_y = const$. Цей вектор в загальному випадку визначається рівністю [1]:

$$\bar{V}_y = \bar{V} + \dot{\bar{D}}, \quad (1)$$

де \bar{V} – вектор швидкості літального апарата; $\dot{\bar{D}}$ – похідна від вектору дальності до цілі.

Інтегруючи (1), отримаємо:

$$\bar{L}_y = \bar{L} + \bar{D} - \bar{D}_0, \quad (2)$$

де \bar{L}_y і \bar{L} – вектори лінійного переміщення цілі і ЛА за час від моменту попередньої засічки до моменту стрільби (пуску некерованих авіаційних ракет); \bar{D}_0 – початкова дальність.

В алгоритмах ПЗ вектор швидкості цілі визначається рівністю:

$$\bar{V}_y = \frac{\bar{L}_y}{t}, \quad (3)$$

тобто дорівнює середньому значенню на відріжку часу t .

Якщо прийняти більш складну гіпотезу – $\dot{\bar{V}}_y = const$, то вектор швидкості цілі можна визначити рівністю:

$$\bar{V}_y = \frac{1}{t} \int_0^t (\bar{V}_y - \dot{\bar{V}}_y t) dt.$$

При прийнятій гіпотезі ($\dot{\bar{V}}_y = const$) маємо:

$$\dot{\bar{V}}_y = \frac{\bar{V}_y - \bar{V}_{0y}}{t},$$

де \bar{V}_{0u} – початкове значення вектору швидкості цілі.

Поточний вектор швидкості цілі в цьому випадку визначається за формулою:

$$\bar{V}_u = \frac{1}{t} \int_0^t \bar{V}_u dt + \frac{1}{t} \int_0^t \frac{\bar{V}_u - \bar{V}_{0u}}{t} t dt.$$

Звідки маємо

$$\bar{V}_u = \frac{2}{t} \bar{L}_u - \bar{V}_{0u}. \quad (4)$$

Величину і напрямок вектора \bar{V}_{0u} можна визначати шляхом синхронізації руху цілі і нерухомої (фіксованої) прицільної марки.

У цьому випадку складові кутової швидкості візирної лінії ($\omega_{y_D}, \omega_{z_D}$) визначаються рівностями [1, 2]:

$$\begin{aligned} \omega_{z_D} &= \omega_z + \omega_x \beta_0; \\ \omega_{y_D} &= \omega_y - \omega_x \varepsilon_0, \end{aligned} \quad (5)$$

де $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – кутові швидкості ЛА; ε_0, β_0 – відносні кутові координати фіксованої прицільної марки.

Знаючи початкові значення кутових швидкостей лінії візування, можна визначити [1] початковий вектор швидкості цілі:

$$\bar{V}_{0u} = \bar{V}_0 + \dot{\bar{D}}_0 = \bar{V}_0 + \bar{X}_{D_0}^o \dot{D} + \bar{\omega}_{0D} \times \bar{D}_0, \quad (6)$$

де \bar{V}_0 – початковий вектор (в момент попередньої засічки) швидкості ЛА; \bar{D}_0 і $\dot{\bar{D}}_0$ – початкові значення векторів дальності і швидкості зближення з ціллю; $\bar{X}_{D_0}^o$ – одиничний вектор, що співпадає за напрямком з вектором початкової дальності (\bar{D}_0); $\bar{\omega}_{0D}$ – вектор початкової кутової швидкості лінії візування.

Таким чином, вимірюючи в момент ПЗ кутові швидкості, істинну швидкість ЛА, а також початкові значення дальності і швидкості зближення можна обчислити поточний вектор швидкості цілі при гіпотезі про незмінність прискорення цілі.

Більш прості математичні залежності методу ПЗ можна отримати при гіпотезі про незмінність складових кутової швидкості лінії візування, тобто при гіпотезі:

$$\omega_{y_D} = const, \omega_{z_D} = const.$$

В цьому випадку поточні значення цих параметрів можна усереднити на відрізок часу t , тобто

$$\omega_{y_D} = \frac{1}{t} \int_0^t \omega_{y_D} dt, \quad \omega_{z_D} = \frac{1}{t} \int_0^t \omega_{z_D} dt. \quad (7)$$

З більш високою точністю можна визначити кутові швидкості лінії візування при гіпотезі $\dot{\omega}_{y_D} = const, \dot{\omega}_{z_D} = const$.

В цьому випадку поточне значення цих параметрів можна виразити по аналогії (4) через середні значення параметрів (перші складові в правих частинах рівностей (8)) та їх початкові значення ($\omega_{0y_D}, \omega_{0z_D}$) за формулами:

$$\begin{aligned} \omega_{y_D} &= \frac{2}{t} \int_0^t \omega_{y_D} dt - \omega_{0y_D}; \\ \omega_{z_D} &= \frac{2}{t} \int_0^t \omega_{z_D} dt - \omega_{0z_D}, \end{aligned} \quad (8)$$

де $\omega_{0y_D}, \omega_{0z_D}$ визначаються при супроводженні руху цілі з фіксованою нерухомою прицільною маркою.

Кутові швидкості лінії візування з достатньою точністю можна представити в лінеаризованому вигляді:

$$\begin{aligned} \omega_{y_D} &= \omega_y + \dot{\beta} - \omega_x \varepsilon; \\ \omega_{z_D} &= \omega_z + \dot{\varepsilon} - \omega_x \beta, \end{aligned} \quad (9)$$

де $\dot{\varepsilon}, \dot{\beta}$ – похідні від кутових координат цілі; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – кутові швидкості ЛА.

З урахуванням рівностей (9) інтеграли від кутових швидкостей лінії візування можна представити у вигляді:

$$\int_0^t \omega_{y_D} dt = \int_0^t (\omega_y - \omega_x \varepsilon) dt + \beta - \beta_0;$$

$$\int_0^t \omega_{z_D} dt = \int_0^t (\omega_z + \omega_x \beta) dt + \varepsilon - \varepsilon_0,$$
(10)

де ε_0, β_0 – початкові значення кутових координат цілі.

Таким чином, виконуючи супровід цілі фіксованою прицільною маркою та вимірюючи кутові швидкості ЛА можна обчислити кутові швидкості лінії візування з урахуванням першої похідної від їх поточного значення.

Авторами було виконано моделювання алгоритмів (4) і (8). При моделюванні виконувалась атака повітряної або рухомої наземної цілі з вирішенням задачі прицілювання з використанням алгоритмів, що реалізовані в прицільних системах і запропонованих алгоритмів (4) і (8). При моделюванні отримані табличні функції законів зміни кутових швидкостей лінії візування. Для оцінки ефективності запропонованих алгоритмів виберемо одну із функцій і апроксимуємо її лінійною функцією вигляду:

$$\omega_{z_D}(t) = \omega_{0z_D} + \omega_{z_D} t.$$

При апроксимації було використано 40 значень ω_{z_D} , тобто пряма лінія проведена через 40 точок при оптимізації методом найменших квадратів. Такою функцією є:

$$\omega_{z_D}(t) = 106 - 14 t.$$

В цій рівності початкові значення ($t = 0$) кутової швидкості $\omega_{0z_D} = 106 \text{ мрад} / \text{с}$, похідна від кутової швидкості $\dot{\omega}_{0z_D} = 14 \text{ мрад} / \text{с}^2$. В даній реалізації час між вимірюванням ω_{0z_D} і моментом стрільби дорівнює 4 с.

При використанні алгоритмів отриманих при гіпотезі $\omega_{z_D} = \text{const}$ (реалізованих в прицільних системах деяких типів літаків і вертольотів) кутова швидкість приймається середнім значенням, тобто:

$$\omega_{z_D} = \frac{1}{t} \int_0^t \omega_{z_D} dt.$$

З урахуванням апроксимуючої функції отримано розрахункове значення ω_{z_D} :

$$\omega_{z_D} = \frac{1}{4} \int_0^4 (106 - 14t) dt = 106 - 14 \frac{4}{2} = 78 \text{ мрад / с.}$$

Фактичне значення $\omega_{z_D}^*$ на підставі апроксимації дорівнює:

$$\omega_{z_D}^* = 106 - 14 \cdot 4 = 50 \text{ мрад / с.}$$

Отже помилка складає:

$$\Delta\omega_{z_D} = 78 - 50 = 28 \text{ мрад / с.}$$

Обчислюючи ω_{z_D} за запропонованим алгоритмом (8), отримаємо:

$$\omega_{z_D} = \frac{2}{4} \int_0^4 (106 - 14t) dt - 106 = 78 \text{ мрад / с,}$$

що відповідає потрібному (фактичному) значенню ω_{z_D} .

Таким чином, алгоритм (8) ураховує зміну ω_{z_D} за час прицілювання при гіпотезі $\omega_{z_D} = const$.

Таким чином, використовуючи рівняння (4) і (8) можна обчислити кутові поправки на рух цілі і швидкості вітру з більш високою точністю порівняно з точністю при гіпотезі про незмінність вектора швидкості цілі чи про незмінність складових кутової швидкості лінії візування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гришутин В.Г. Основы построения алгоритмов авиационных прицельных систем. – К.: КВВАИУ, 1988. – 308 с.
2. Горелин И.С., Коврижкин О.Г. Авиационные прицельно-навигационные системы. – К.: КИВВС, 1996. – 476 с.

Надійшла до редакції 29.10.2010.