УДК 623.62

***БАШИНСЬКИЙ В.Г.**, заступник начальника Державного науково-випробувального центру Збройних Сил України з наукової роботи, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

***КАМАК Ю.О.**, начальник відділення Державного науково-випробувального центру ЗС України*

ВИБІР КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЇ ЗАВАД НА ОПТИЧНІ ГОЛОВКИ САМОНАВЕДЕННЯ АВІАЦІЙНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ

В статті запропоновано підхід до вибору критерію оцінки ефективності дії завад на оптичні головки самонаведення авіаційних керованих ракет

***Ключові слова:** авіаційні керовані ракети, оптичні головки самонаведення, критерії оцінки ефективності дії завад.*

Ефективність дії завад на оптичні головки самонаведення часто оцінюється числовими характеристиками закону розподілу промахів ракет в картинній або іншій характерній площині у цілі. Вибір промаху як кількісного показника ефективності завад виправданий. Проте практика математичного моделювання процесу наведення ракети на ціль в умовах інтенсивної дії завад показує, що більш зручнішим критерієм є імовірність влучання ракети в коло заданого радіусу біля цілі. Зазвичай радіус кола вибирається рівним максимальній дальності спрацьовування неконтактного підривача.

У практиці досліджень доводиться мати справу з невеликим числом характерних випадків. Розглянемо один з них [1]. Припустимо, що математичне сподівання і середня квадратична помилка розсіювання траєкторій ракет в картинній площині навколо цілі відомі. Систематичні помилки наведення відсутні ($y_0=0$ і $z_0=0$), а розподіл випадкових помилок наведення відповідає еліптичному закону ($\sigma_y \neq \sigma_z$). В цьому випадку щільність розподілу імовірності помилок на площині визначається:

$$f(y,z)=\frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z}e^{-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2}+\frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)},$$

або в полярних координатах

$$f(\varphi,\tau)=\frac{1}{2\pi\sigma_y^2\sigma_z^2}e^{-\left(\frac{\tau^2\sin^2\varphi}{2\sigma_y^2}+\frac{\tau^2\cos^2\varphi}{2\sigma_z^2}\right)},$$

де y, z – помилка наведення ракети по осям Y та Z; σ_y, σ_z – середня квадратична помилка розсіювання траєкторій ракети по осям Y та Z; τ, φ – помилка наведення ракети в полярній системі координат.

Для визначення імовірності влучання в круг, обмежений колом радіусами τ і τ+dτ, функцію $f(\varphi,\tau)\tau d\tau d\varphi$ необхідно проінтеґрувати по φ в межах від 0 до 2π:

$$P(\tau < R < \tau + d\tau) = \frac{\tau d\tau}{2\pi\sigma_y\sigma_z}\int_0^{2\pi} e^{-\left(\frac{\tau^2\sin^2\varphi}{2\sigma_y^2}+\frac{\tau^2\cos^2\varphi}{2\sigma_z^2}\right)} d\varphi \ ,$$

де R – радіус кола.

Цей інтеграл приводиться до функції Бесселя нульового порядку від уявного аргументу. При цьому щільність імовірності промахів має вигляд:

$$f(\tau) = \frac{\tau}{\sigma_y\sigma_z} e^{-\tau^2\frac{\sigma_y^2+\sigma_z^2}{4\sigma_y^2\sigma_z^2}} I_0\left(\tau^2\frac{\sigma_z^2-\sigma_y^2}{4\sigma_y^2\sigma_z^2}\right),$$

де I_0 – функції Бесселя нульового порядку.

Імовірність влучання ракети до кола заданого радіуса визначається по формулі:

$$P(\tau < R) = \int_0^R \frac{\tau}{\sigma_y\sigma_z} e^{-\tau^2\frac{\sigma_y^2+\sigma_z^2}{4\sigma_y^2\sigma_z^2}} I_0\left(\tau^2\frac{\sigma_z^2-\sigma_y^2}{4\sigma_y^2\sigma_z^2}\right) dz \,. \qquad (1)$$

Інтеграл (1) через елементарні функції не обчислюється. Тому імовірність влучання ракети в коло заданого радіуса при еліптичному законі розсіювання і відсутності систематичних помилок зазвичай визначається по заздалегідь розрахованим таблицям. Вхідними даними в таблицю є величини a і b , які обчислюються наступним чином:

при $\sigma_y < \sigma_z$

$$a = 1{,}4815\frac{R}{\sigma_z};\ b = \sqrt{1-\frac{\sigma_y^2}{\sigma_z^2}}\,.$$

при $\sigma_y > \sigma_z$

$$a = 1{,}4815\frac{R}{\sigma_y};\ b = \sqrt{1-\frac{\sigma_z^2}{\sigma_y^2}}\,.$$

Необхідність приблизного представлення складних функцій типу інтеграла (1) при вирішенні конкретних завдань – проблема, добре відома. Вона виникає зазвичай за двома причинами. Перша припускає наявність аналітичної, але складно обчислюваної залежності (1), яку слід замінити більш простішою, програвши при цьому в точності, але вигравши в економічності. Друга причина полягає в тому, що початкові дані дискретні (представлені таблицею), а завдання вимагає безперервного функціонального представлення. Класичний апарат вирішення таких завдань – теорія поліноміальних і дрібнораціональних наближень, розвинена в роботах Вейерштрассе, Чебишева, Бернштейна та ін. [2] .

При побудові моделей складних систем (1) виникають труднощі у зв'язку з браком апріорної інформації про систему, що моделюється, оскільки фізична суть деяких зв'язків неясна, мало спостережень, дані про них часто зашумлені [4].

Такого роду труднощі не дозволяють скористатися класичним апаратом представлення складних функцій, для яких імовірність побудови непридатних моделей особливо велика. Тому останніми роками спостерігається зростання числа робіт, присвячених новим методам обробки статистичної інформації для вирішення різноманітних наукових і практичних завдань. Можна визначити два напрями, за якими ведуться пошуки. До першого відноситься вивчення так званих стійких процедур, властивості яких хоча і спираються на ті або інші імовірнісні гіпотези, але виявляються малочутливими до відхилень від цих гіпотез.

Другий напрям складають методи, в основі яких лежать вільні від розподілу процедури, які можна було б використовувати в широкому класі початкових розподілів безвідносно до їх аналітичної форми. Одним з перспективних методів цього напряму є метод групового урахування аргументів (МГУА) [3,5].

Для методу групового урахування аргументів, заснованого на принципі самоорганізації, достатньо мінімального об'єму потрібної для моделювання апріорної інформації. Це досягається в першу чергу доцільним вибором зовнішніх доповнень – критеріїв перебору моделей. Для кожного виду завдань рекомендується вибрати відповідний критерій адекватності побудованої моделі реальному процесу.

Рішення поставленої вище задачі апроксимації функції (1) виконуватимемо по одному з алгоритмів, в основу яких покладений МГУА [3]. Як зовнішній критерій виберемо критерій регулярності, що розрахований на перевірочній вибірці В:

$$\Delta(B)=\left(\frac{\sum\limits_{y_i\in B}\left(y_i-\hat{y}_i\right)^2}{\sum\limits_{y_i\in B}\left(y_i\,\hat{y}_i\right)^2}\right)\to\min\,, \tag{2}$$

де y_i – фактичне значення функції; $\hat{y}_i$ – прогнозоване значення функції;

Якщо синтез моделі, що апроксимує імовірність влучання ракети в коло заданого радіусу (1), виконати по багаторядному алгоритму ідентифікації складних об'єктів [3] з використанням критерію *(2),* то отримаємо наступну модель:

$$\begin{aligned}P(r<R)&=-0{,}2136-0{,}0056b+0{,}1388b^2+0{,}0506ab-\\&-0{,}0007ab^2-0{,}0551a^2-0{,}0114a^2b-0{,}0051a^2b^2\end{aligned}. \tag{3}$$

Апроксимаційні властивості многочлена (3) оцінюються величиною критерію, що застосовується для вибору структури моделі. Для моделі (3) значення критерію (2) дорівнює

$$\Delta(B)=0{,}11806\cdot10^{-3}.$$

Якщо вимоги до представлення початкових даних жорсткі, а обмеження на складність моделі не накладаються $(S\ge N)$, то вибір структури моделі доцільно здійснити по критерію

$$D(C)=\left(\sum_{y_i\in C}(y_i-\hat{y}_i)^2\right)^{1/2}\to\min\,, \tag{4}$$

тоді інтеграл (1) може бути представлений більш складною моделлю:

$$\begin{aligned}P(r<R) &= 0{,}0576+0{,}3109a-0{,}0759b-0{,}1916a^2-0{,}0095b^2+\\&+0{,}0271ab+0{,}0074a^2b+0{,}0018ab^2+0{,}0056a^2b^2-\\&-0{,}0009a^3-0{,}0013b^3-0{,}8436\cdot10^{-6}/b-0{,}1744\cdot10^{-10}/a^2+\\&+0{,}3244\cdot10^{-11}/b^2-0{,}9625\cdot10^{-11}/ab-0{,}4235\cdot10^{-7}/a^2b\end{aligned} \quad (5)$$

Точностні характеристики моделі (5) оцінюються величиною критерію (4):

$$\Delta(C)=0{,}2037\cdot10^{-4}.$$

Для отримання компактної моделі краще скористатися критерієм симетричної регулярності – сум середньоквадратичних відхилень, розрахованих на старих точках (А), які використовуються для отримання оцінок:

$$D(AB)=\left(\sum_{y_i\in AB}(\hat{y}_A-y)_i^2+\sum_{y_i\in AB}(\hat{y}_B-y)_i^2\right)^{1/2}\to\min, \quad (6)$$

тоді інтеграл (1) може бути представлений більш простою функціональною залежністю

$$P(r<R)=0{,}0337+0{,}2885a-0{,}0181a^2+0{,}0335ab+0{,}0065a^2b. \quad (7)$$

Для моделі (7) величина критерію (6) рівна

$$\Delta(AB)=0{,}1170\cdot10^{-2}.$$

ВИСНОВОК

Таким чином, для наближеного функціонального представлення табличних даних або складних функцій типу інтеграла (1) можна з успіхом застосовувати метод групового врахування аргументів [3], який дозволяє шляхом вибору того або іншого зовнішнього критерію селекції отримувати відповідні моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами.- М.: Воениздат, 1980. - 294с.
2. Василенко В.А. Сплайн - функции: Теория; алгоритмы, программы. - Новосибирск: Наука, 1983. - 214с „
3. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. - Киев: Наукова думка, 1982. - 296с.
4. Барабащук В.И., Креденцер Б.П., Мирошниченко В.И. Планирование эксперимента в технике. - Киев: Техника, 1984.- 200с.
5. Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. - Москва: Радио и связь, 1987. - 120с.

Надійшла до редакції 31.10.2011