

ДІАГНОСТИКА СТАНУ ПОВЕРХНІ КРИЛА ЛІТАКА З ВИКОРИСТАННЯМ БАЙЄСІВСЬКИХ МЕРЕЖ

Казак В. Н., д-р техн. наук, проф., *Булка Л. Л.*, *Вакарова А. Й.*, *Гладинок Б. В.*

Національний авіаційний університет

lovetc@bk.ru

Запропоновано методику визначення ймовірності пошкоджень зовнішнього обводу повітряного судна з використанням Байєсівських мереж. Вони дають змогу не тільки використовувати апріорний досвід експертів у відповідній предметній області, але і враховувати об'єктивну інформацію, отриману під час проведення експериментів або накопичену в результаті тривалих спостережень.

Ключові слова: Байєсівські мережі, повітряне судно, апріорний досвід, об'єктивна інформація, ймовірність.

A used technique for determining the likelihood of damage to the external shape of the aircraft using the Bayesian networks. They can not only use prior experience of experts in the relevant subject area, but also take into account the objective information obtained during the experiments or accrued as a result of long observation.

Keywords: Bayesian network, aircraft, prior experience, objective information, probability.

Вступ

У процесі тривалої експлуатації повітряного судна (ПС) його льотно-технічні характеристики зазнають суттєвих змін. Більш суттєві зміни аеродинамічних характеристик відбуваються під час раптових пошкоджень зовнішнього обводу літака в результаті зіткнення з його поверхнею при великих швидкостях механічних, біологічних, електричних чи інших об'єктів.

Небезпека таких пошкоджень полягає в тому, що вони мають випадковий характер і їх появу не можна передбачити.

Результатом цих зіткнень залежно від швидкості та маси об'єкта можуть бути як незначні вм'ятини, так і катастрофічні руйнування конструкції літака, або його систем.

Постановка задачі

Під час виконання посадки літака екіпаж відчув поштовх у крило літака. При контрольній перевірці керованості і стійкості повітряного судна з'явилась підозра на те, що в крило потрапив птах і можливе одне з трьох пошкоджень: вм'ятина, вм'ятина з розривом, пробій. Їх ймовірність в даних умовах відповідно $P(A_1)$, $P(A_2)$, $P(A_3)$. Для з'ясування зіткнення екіпаж протестував стійкість ПС у польоті (T). Отримали підтвердження зіткнення з ймовірністю: $P(T/A_1)$ — вм'ятина; $P(T/A_2)$ — вм'ятина з розривом; $P(T/A_3)$ — пробій.

Розв'язання задачі

Найпоширеніші такі методи розпізнавання [2]:

- статистичні;
- статистичних рішень.

До статистичних методів належать статистичний метод Байєса та статистичний метод Вальда.

Методи статистичних рішень складаються з: методу статистичних рішень для одного параметра, методу статистичних рішень на принципі мінімального ризику, методу статистичних рішень побудованих на принципі мінімальної кількості хибних рішень, методу статистичних рішень на принципі мінімаксу, методу статистичних рішень Неймана–Пірсона, методу статистичних рішень побудованих на принципі найбільшої правдоподібності.

Метод Вальда — метод послідовного аналізу

Цей метод застосовується для розпізнавання двох станів. На відміну від метода Байєса кількість обстежень наперед не встановлюється, їх проводиться стільки, скільки необхідно для прийняття рішення з певним ступенем ризику. Якщо є два стани (діагнози) D_1 та D_2 , то, склавши для кожного із діагнозів відповідно, можна записати співвідношення:

$$\frac{P(\ddot{A}_2/k^*)}{P(\ddot{A}_1/k^*)} = \frac{P(\ddot{A}_2)P(k_1^*/\ddot{A}_2)P(k_2^*/\ddot{A}_2)\dots P(k_j^*/\ddot{A}_2)}{P(\ddot{A}_1)P(k_1^*/\ddot{A}_1)P(k_2^*/\ddot{A}_1)\dots P(k_j^*/\ddot{A}_1)},$$

$$k^* = (k_1^*, k_2^*, \dots, k_j^*), \quad j = 1 \dots n.$$

Якщо $\frac{P(\ddot{A}_2/k^*)}{P(\ddot{A}_1/k^*)} > 1$ або

$$\alpha_j = \frac{P(k_1^*/\ddot{A}_2)P(k_2^*/\ddot{A}_2)\dots P(k_j^*/\ddot{A}_2)}{P(k_1^*/\ddot{A}_1)P(k_2^*/\ddot{A}_1)\dots P(k_j^*/\ddot{A}_1)} > \frac{P(\ddot{A}_1)}{P(\ddot{A}_2)},$$

то приймаємо рішення, що $k^* \in \ddot{A}_2$, тобто комплекс ознак визначає діагноз \ddot{A}_2 .

У цьому методі для величини α_j задається верхня і нижня межа прийняття рішень A_1, A_2 , причому, якщо на наступному кроці $\alpha_j > A_1$, то $k^* \in \ddot{A}_2$. Якщо $\alpha_j > A_1$, то $k^* \in \ddot{A}_1$. У випадку, якщо $A_1 < \alpha_j < A_2$, необхідне додаткове обстеження за такою ознакою.

Процедура методу. Нехай проведено $j = k - 1$ обстежень, одержано величину $A_1 < \alpha_{k-1} < A_2$,

$$\alpha_{k-1} = \frac{P(k_1^*/\ddot{A}_2)P(k_2^*/\ddot{A}_2)\dots P(k_{k-1}^*/\ddot{A}_2)}{P(k_1^*/\ddot{A}_1)P(k_2^*/\ddot{A}_1)\dots P(k_{k-1}^*/\ddot{A}_1)}. \quad (1)$$

Отже, якщо після k -го обстеження величина

$$\alpha_k = \frac{P(k_1^*/\ddot{A}_2)P(k_2^*/\ddot{A}_2)\dots P(k_k^*/\ddot{A}_2)}{P(k_1^*/\ddot{A}_1)P(k_2^*/\ddot{A}_1)\dots P(k_k^*/\ddot{A}_1)} > A_2,$$

то $k^* \in \ddot{A}_2$, якщо ж $\alpha_j < A_1$, то $k^* \in \ddot{A}_1$.

Таким чином, вибираємо стільки кроків, скільки потрібно, щоб досягнути нижньої або верхньої межі прийняття рішень. Після чого застосовується розв'язувальне правило. Застосуємо метод і для неперервних випадкових величин U_1 і U_2 , але замість умовних ймовірностей у нерівності (1) входять густини ймовірностей параметрів: $f(U_1/\ddot{A}_1)$, $f(U_1/\ddot{A}_2)$, $f(U_2/\ddot{A}_1)$, $f(U_2/\ddot{A}_2)$.

Під час розпізнавання можуть виникнути помилки двох родів. Помилка, що належить до діагнозу \ddot{A}_1 , приймається рішення про наявність діагнозу \ddot{A}_2 , коли насправді об'єкт належить діагнозу \ddot{A}_1 (помилка I роду).

Помилка, що в належить до діагнозу \ddot{A}_2 , приймається рішення на користь \ddot{A}_1 , коли справдливий діагноз \ddot{A}_2 (помилка II роду).

Метод Байєса (теорема гіпотез)

Теорема гіпотез є наслідком сумісного застосування теореми множення і формули повної ймовірності.

Метод оснований на простій формулі Байєса.

Якщо є діагноз \ddot{A}_i і проста ознака k_j , що трапляється при цьому діагнозі, то ймовірність сумісної появи подій наявності в об'єкта контролю (ОК) стану \ddot{A}_i і ознаки k_j відповідно теоремі множення дорівнює:

$$P(\ddot{A}_i/k_j) = P(\ddot{A}_i)P(k_j/\ddot{A}_i) = P(k_j)P(\ddot{A}_i/k_j). \quad (2)$$

З цієї рівності випливає формула умовної ймовірності для кожного діагнозу

$$P(\ddot{A}_i/k_j) = \frac{P(\ddot{A}_i)P(k_j/\ddot{A}_i)}{P(k_j)},$$

де $P(\ddot{A}_i)$ — апіорна ймовірність діагнозу \ddot{A}_i , що визначається за статистичними даними; $P(k_j/\ddot{A}_i)$ — ймовірність появи ознаки k_j у об'єктів зі станом \ddot{A}_i ; $P(k_j)$ — ймовірність появи ознаки k_j у всіх об'єктів; $P(\ddot{A}_i/k_j)$ — апостеріорна ймовірність діагнозу \ddot{A}_i за умови, що є в наявності ознака k_j

Величину $P(\ddot{A}_i)$ обраховують за формулою:

$$P(\ddot{A}_i) = \frac{N_i}{N},$$

де N — число обстежуваних об'єктів; N_i — число об'єктів з діагнозом $P(k_j/\ddot{A}_i)$.

Величину обраховують за формулою:

$$P(k_j/\ddot{A}_i) = \frac{N_{ij}}{N_i},$$

де N_{ij} — число об'єктів з діагнозом.

Формула (2) враховує один діагноз і одну ознаку. Для більшості ознак і діагнозів, можна використати загальну формулу Байєса.

Нехай обстеження об'єкта ведеться за комплексом ознак

$$k = (k_1, k_2, \dots, k_n).$$

У результаті контролю стає відомим реалізація ознак

$$k^* = (k_1^*, k_2^*, \dots, k_n^*).$$

Тоді загальна формула Байєса має вигляд:

$$P(\ddot{A}_i/k^*) = \frac{P(\ddot{A}_i)P(k^*/\ddot{A}_i)}{\sum_{s=1}^m P(\ddot{A}_s)P(k^*/\ddot{A}_s)}, \quad (3)$$

$P(\ddot{A}_i)$ — апостеріорна ймовірність діагнозу \ddot{A}_i ;

$P(k^*/\ddot{A}_i) = P(k_1^*/\ddot{A}_i) + P(k_2^*/\ddot{A}_i) + \dots + P(k_n^*/\ddot{A}_i)$,

$P(\ddot{A}_i/k^*)$ — апостеріорна ймовірність діагнозу

\ddot{A}_i ; $P(k^*/\ddot{A}_i)$ — ймовірність появи комплексів ознак за умови, що об'єкт знаходиться у стані \ddot{A}_i .

У формулі (3) ознаки і діагнози не залежать один від одного.

Для розрахунку ймовірності появи пошкоджень зовнішнього обводу літака у польті було обрано другий метод Байєса.

Байєсівські мережі в діагностуванні процесів і систем є суттєвим кроком уперед порівняно з методом Вальда. Вони дають змогу враховувати об'єктивну інформацію, отриману в результаті

тривалих спостережень, тобто апостеріорну інформацію, що отримана в результаті тривалої льотної експлуатації в умовах невизначеності.

Завдяки графічному представленню, Байєсівські мережі дають зрозуміле пояснення своїх висновків, допускають логічну інтерпретацію і модифікацію структури відношень між змінними задачі [3] (рис. 1).

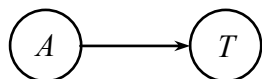


Рис. 1. Граф залежності аналізу T від пошкодження A

Припустимо, що результат $T = 1$ може бути отримано не тільки за наявності пошкоджень A , але і за інших причин, які можуть мати місце одночасно з A' .

У ПС можлива схильність D до виникнення причин A і A' , тоді отримуємо граф, зображений на рис. 2.

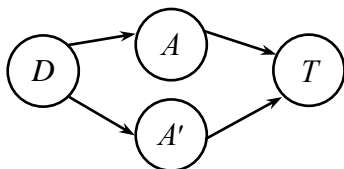


Рис. 2. Граф залежності між причинами, наслідками та зовнішніми факторами

Результати дослідження

Вихідні дані зведені в діагностичну таблицю.

A_i	$P(A_i)$	$P(A_i/T)$
A_1	0,25	0,20
A_2	0,15	0,40
A_3	0,20	0,60

Математична модель методу [1]:

$$P(\hat{A}_i / \hat{O}) = \frac{P(\hat{O} / \hat{A}_i)P(\hat{A}_i)}{P(\hat{O} / \hat{A}_1)P(\hat{A}_1) + P(\hat{O} / \hat{A}_2)P(\hat{A}_2) + P(\hat{O} / \hat{A}_3)P(\hat{A}_3) + \dots};$$

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

Імовірність появи вм'ятини:

$$P(\hat{A}_1 / \hat{O}) = \frac{P(\hat{O} / \hat{A}_1)P(\hat{A}_1)}{P(\hat{O} / \hat{A}_1)P(\hat{A}_1) + P(\hat{O} / \hat{A}_2)P(\hat{A}_2) + P(\hat{O} / \hat{A}_3)P(\hat{A}_3)} = \frac{0,2 \cdot 0,25}{0,2 \cdot 0,25 + 0,4 \cdot 0,15 + 0,6 \cdot 0,2} = 0,2.$$

Імовірність появи вм'ятини з розривом:

$$P(\hat{A}_2 / \hat{O}) = \frac{P(\hat{O} / \hat{A}_2)P(\hat{A}_2)}{P(\hat{O} / \hat{A}_1)P(\hat{A}_1) + P(\hat{O} / \hat{A}_2)P(\hat{A}_2) + P(\hat{O} / \hat{A}_3)P(\hat{A}_3)} = \frac{0,4 \cdot 0,15}{0,2 \cdot 0,25 + 0,4 \cdot 0,15 + 0,6 \cdot 0,2} = 0,26.$$

Імовірність появи пробію:

$$P(\hat{A}_3 / \hat{O}) = \frac{P(\hat{O} / \hat{A}_3)P(\hat{A}_3)}{P(\hat{O} / \hat{A}_1)P(\hat{A}_1) + P(\hat{O} / \hat{A}_2)P(\hat{A}_2) + P(\hat{O} / \hat{A}_3)P(\hat{A}_3)} = \frac{0,6 \cdot 0,2}{0,2 \cdot 0,25 + 0,4 \cdot 0,15 + 0,6 \cdot 0,2} = 0,52.$$

Висновки

На основі теоретичних досліджень встановлено, що під час контрольної перевірки можливого стану зовнішніх обводів ПС імовірності появи одного з трьох пошкоджень: вм'ятини — 20 %, вм'ятини з розривом — 26 %, пробій — 52 %. Таким чином, найбільш імовірним пошкодженням є пробій.

Метод Байєса дає змогу підвищити точність оцінки поточного стану несучої поверхні літака, а також спрогнозувати його подальшу зміну.

ЛІТЕРАТУРА

1. Казак В. М. Основи експрес-діагностування: навч. посіб. / В. М. Казак, А. К. Зюзько. — К. : НАУ, 2005. — 184 с.
2. Савчук В. П. Байєсовские методы статистического оценивания: Надежность технических объектов / В. П. Савчук. — М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. — 328 с.
3. Казак В. М. Системні методи відновлення живучості літальних апаратів в особливих ситуаціях у польоті / В. М. Казак. — К. : Вид-во НАУ-друк; 2010. — 284 с.

Стаття надійшла до редакції 20.12.2010.