jak powstaje technika wojskowa
ISBN 83-11-06647-7
Rozdział IX.4. [*]

Stefan Hipsz Zbigniew Karolak Eugeniusz Olearczuk

1981

Taksonomiczne sposoby oceny systemów

Jednym z ciekawszych, szeroko stosowanych sposobów oceny układów złożonych jest *metoda taksonomiczna*. Opracowana została ona na przełomie lat 1949/50 we Wrocławiu w zespole prof. Hugo Steinhausa i nazwana „Taksonomią Wrocławską". Taksonomiczne metody oceny są szczególnie przydatne wówczas, gdy cechy systemu (układu lub procesu) podlegające ocenie są niewymierne. Zachodzi więc konieczność ich szacowania — taksowania. Metoda taksonomiczna wykorzystuje zasady stosowane w technikach punktowych oraz odległości. Podstawą jej jest założenie o addytywności (sumowalności) cech ocenianego systemu, co oznacza, że w konsekwencji globalna wartość (jakość) obiektu wyraża się sumą wartości cząstkowych. Takie podejście ma oczywiście wiele wad sprowadzających się do tego, że niedostatki w zakresie pewnej grupy własności są kompensowane dobrymi ocenami za inne własności. Należy jednak podkreślić, że dla porównawczych ocen systemów o tym samym przeznaczeniu, o których dodatkowo wiemy, że żadna z ich cech nie dyskwalifikuje obiektu jest to metoda efektywna i prosta. Istota badania polega na badaniu macierzy „odległości" pod kątem ich wartości. Innymi słowy, ma na celu wykrycie elementów, których wartości cech odbiegają w istotny sposób od wartości przeciętnych. Pozwala zatem w zbiorze obiektów (jednorodnych — to bardzo ważne) odnaleźć te, które nie powinny być brane pod uwagę przy ocenie ze względu na małe „podobieństwo" do pozostałych.

Omówimy przebieg oceny taksonomicznej na następującym przykładzie. Należy dokonać porównawczej oceny czterech zestawów uzbrojenia, o których

[*] Współcześnie (2 maja 2006) opracował mgr Ryszard W. Czekaj <rychoo@freeshell.org> dokument dostępny pod adresem http://rychoo.freeshell.org/doc/tw/.

Tabela 1: Wartości cech ocenianych zestawów

Cecha (i)	1	2	3	4
Nr zestawu (n)	Skuteczność [%]	Trwałość [wystrzałów]	Czas przygotowania do życia [min]	Podatność naprawcza [pkt]
zestaw 1	92	5000	10	4
zestaw 2	97	5000	12	2
zestaw 3	94	4800	8	0
zestaw 4	95	5200	7	1

wiadomo, że ich przydatność do zadań może być wyrażona następującym zbiorem cech:

- skuteczność — określona prawdopodobieństwem wykonania zadania;
- trwałość — określona żywotnością lufy (np. przewidywaną ilością wystrzałów — resursem lufy);
- podatność na przygotowanie — określona nakładem pracy na przygotowanie do użycia (osiągnięcie pełnej gotowości bojowej), mierzona np. czasem przygotowania;
- podatność naprawcza — określona nakładem pracy na wykonanie naprawy zestawu (szacowana przez ekspertów np. w skali od 0 do 5, przy czym 0 oznacza ocenę najwyższą).

Przykładowe dane liczbowe przedstawiono w tablicy 1. Zauważmy, że skuteczność i trwałość są s t y m u l a n t a m i — to znaczy cechami, dla których pożąda się dużych wartości, natomiast podatność na przygotowanie i naprawę d e s t y m u l a n t a m i — to znaczy, im mniejsza wartość cechy tym lepiej.

Aby można było wprowadzić jednorodność miar poszczególnych cech, dokonuje się ich standaryzacji według zależności:

$$\widetilde{C}_{in} = \frac{C_{in} - C_i}{S_i}, \quad \text{i} = 1,2,\ldots \text{I} \tag{1}$$

gdzie:

C_{in} — wartość i-tej cechy zestawu o numerze n

$\widetilde{C}_{in}$ — ustandaryzowana wartość cechy

C_i — wartość średnia cechy i-tej obliczona z zależności:

Tabela 2: Ustandaryzowane wartości cech zestawów

n \ i	1	2	3	4
1	$-1,387$	0	$+0,391$	$+1,521$
2	$+1,387$	0	$+1,432$	$+0,169$
3	$-0,277$	$-1,414$	$-0,651$	$-1,183$
4	$+0,277$	$+1,414$	-1.172	$-0,507$
z_o	$+1,387$	$+1,414$	-1.172	$-1,183$

$$C_i = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} C_{in} \tag{2}$$

S_i — odchylenie standardowe cechy i-tej obliczone z zależności:

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(C_{in} - C_i)^2} \tag{3}$$

gdzie:

I — liczba cech, za które ocenia się zestawy;

N — liczba zestawów podlegających ocenie.

Obliczone zgodnie z powyższymi zależnościami ustandaryzowane wartości cech zamieszczono w tablicy 2.

Następnym krokiem procedury jest wybór tzw. z e s t a w u w z o r c o w e g o. Jest to abstrakcyjny zestaw utworzony przez zbiór najlepszych wartości cech ze zbioru wszystkich cech zestawów. Będą to więc cechy największe dla dwu pierwszych i najmniejsze dla pozostałych. Ogólnie, jako najlepszą cechę i-tą, wybiera się cechę dla której:

$$C_{oi} = \begin{cases} \overset{min}{n}\,\widetilde{C}_{in}, & \text{gdy } C_{in} \text{ jest destymulantą} \\ \overset{max}{n}\,\widetilde{C}_{in}, & \text{gdy } C_{in} \text{ jest stymulantą} \end{cases} \tag{4}$$

W tablicy 2 cechy elementu wzorcowego wypisano w ostatnim wierszu. Należy teraz określić dyspersje pomiędzy wartościami cech a cechami wzorcowymi. Dyspersję tę liczy się z zależności:

$$\delta_{ni} = (C_{oi} - \widetilde{C}_{in})^2, \quad \text{dla } i = 1, 2, \ldots I \quad n = 1, 2, \ldots N \tag{5}$$

Natomiast odległość pomiędzy każdym z zestawów a zestawem wzorcowym z zależności:

$$d_{on} = \left[\sum_{i}^{I} \delta_{ni} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{6}$$

Wartości odległości dla poszczególnych zestawów wynoszą odpowiednio:

$$\begin{aligned} d_{o1} &= 4,410 \\ d_{o2} &= 3,257 \\ d_{o3} &= 3,322 \\ d_{o4} &= 1,300 \end{aligned}$$

Metoda taksonomiczna przewiduje jeszcze określenie globalnej oceny zestawu, sprowadzonej do przedziału $[0, 1]$. W tym celu należy określić: wartość przeciętną i wariancję w zbiorze odległości z zależności:

$$\bar{d}_o = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} d_{on} \tag{7}$$

$$D_o^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} (d_{on} - \bar{d}_o)^2 \tag{8}$$

Określa się ponadto graniczną wartość d_o w postaci:

$$d_o^* = \bar{d}_o + 3\sqrt{D_o^2} \tag{9}$$

Dla wartości z przykładu wielkości te wynoszą:

$$\bar{d}_o = 3,072; \; D_o = 1,257; \; d_o^* = 6,432.$$

Globalną ocenę zestawu wyznacza się z zależności:

$$x_n = 1 - \frac{d_{on}}{d_o^*} \tag{10}$$

Ostatecznie, wartości te wynoszą:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0,314 \\ x_2 &= 0,494 \\ x_3 &= 0,484 \\ x_4 &= 0,798 \end{aligned}$$

Najlepszy zatem jest zestaw nr $\boxed{4}$, a dalsza kolejność jest następująca:
zestaw 2 — $x_2 = 0,494$
zestaw 3 — $x_3 = 0,484$
zestaw 1 — $x_1 = 0,314$.

Jak już wspomniano, oceny te, w miarę potrzeb, mogą być korygowane przy pomocy współczynników wagi stojących obok wartości poszczególnych cech. W tym celu zależność określająca odległość pomiędzy zestawem a wzorcem przyjmuje postać:

$$d_{on} = \left[\sum_{i=1}^{I} \alpha_i \delta_{ni} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{11}$$

przy czym:

$$\sum_{i=1}^{I} \alpha_i = 1 \tag{12}$$

gdzie:

α_i — współczynnik wagi cechy o numerze i.

Jeśli przyjmiemy, że w przykładzie:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 0,4 \\ \alpha_2 &= 0,0 \\ \alpha_3 &= 0,6 \\ \alpha_4 &= 0,0 \end{aligned}$$

to otrzymamy następujące wartości:

$$\begin{aligned} d_{o1} &= 2,1316 \\ d_{o2} &= 2,0171 \\ d_{o3} &= 1,1270 \\ d_{o4} &= 0,7020 \end{aligned}$$

oraz

$$\bar{d}_o = 1,4944;\ D_o = 0,36;\ d_o^* = 3,3;$$

i wówczas wartości ocen zestawów będą wynosić:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0,353 \\ x_2 &= 0,388 \\ x_3 &= 0,658 \\ x_4 &= 0,787 \end{aligned}$$

W takiej sytuacji kolejność zestawów będzie następująca:

$$\begin{aligned} &\text{zestaw 4} — x_4 = 0,787 \\ &\text{zestaw 3} — x_3 = 0,658 \\ &\text{zestaw 2} — x_2 = 0,388 \\ &\text{zestaw 1} — x_1 = 0,353 \end{aligned}$$

Jak widać, w porównaniu z pierwszą oceną zestaw 3 jest wyraźnie lepszy od zestawu 2. Jest to wynikiem współczynników wagi, uwzględniających stopień ważności poszczególnych cech.