An. Şt. Univ. Ovidius Constanţa Vol. 11(2), 2003, 93–100

CONSIDERAŢII PRIVIND ANALIZA FIABILITĂŢII ACŢIUNILOR DE LUPTĂ

Gheorghe Marin şi Marian Caţă

Abstract

În acest articol sunt prezentate principiile de bază ale fiabilităţii în operaţiile militare care sunt la fel ca acelea pentru sistemele mecanice în care fiabilităţile individuale sau ale componentelor sunt înlocuite de fiabilităţile operaţionale. Ca şi în sistemele mecanice, operaţiile militare pot fi tratate fie ca acţiuni de luptă desfăşurate în serie, fie ca acţiuni de luptă desfăşurate în paralel (redundante). Aceste concepte simplificate permit o cercetare mai bună a diferitelor scenarii pentru a realiza un obiectiv anume.

1 Fiabilitatea acţiunilor de luptă în serie

Un sistem de acţiuni de luptă în serie, în sensul fiabilităţii, înseamnă că toate componentele din sistem trebuie să funcţioneze pentru ca întreaga operaţiune să aibă succes. Schema bloc pentru un astfel de sistem este arătată în Fig. 1.

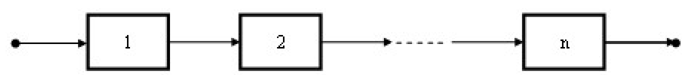

Fig. 1 Operaţiuni în serie

Fiabilitatea unei operaţii militare se măsoară în termeni de probabilitate de succes. Astfel, probabilitatea de succes a unei serii de componente cuprinzând toată misiunea (operaţiunea) este probabilitatea de succes a evenimentelor independente, adică:

$$R = R_1 R_2 \dots R_n = \prod_{i=1}^{n} R_i \tag{1}$$

unde R_i este probabilitatea de succes a acţiunii i.

Un exemplu tipic de sistem în serie de acţiuni de luptă a fost misiunea din 1980 de salvare a ostaticilor americani din Iran (Fig. 2), care a constat din şase acţiuni independente. Deşi nu s-au dat detalii oficiale, revista *Newsweek* a presupus următorul scenariu:

1) Poziţia în deşert: aterizarea a trei avioane de transport C-130 şi a şase elicoptere mari RH-53D (Sea Stallions), într-o poziţie îndepărtată, din deşert, în Iran.

2) Elicopterele RH-53D cu trupe de comando trebuiau să zboare până la un munte la est de Teheran, în timp ce avioanele C-130 trebuiau să părăsească Iranul.

3) În noaptea următoare trupele trebuiau să meargă în secret la Teheran cu vehicule deja amplasate în prealabil de agenţi secreţi americani.

4) Salvatorii trebuiau să atace apoi gărzile iraniene amplasate atât la ambasada americană cât şi ministerul de externe iranian.

5) O dată gărzile anihilate şi ostaticii puşi în siguranţă, elicopterele RH-53D trebuiau să aterizeze la ambasadă să ridice toţi ostaticii pentru a-i îmbarca pe avioanele C-130.

6) Atât ostaticii cât şi trupele de salvare urmau să zboare în afara ţării cu avioanele C-130.

Dacă probabilitatea de succes a fiecărei componente din această misiune ar fi 0,9 (adică $R_i = 0{,}9$, i=1,...,6), atunci, din ecuaţia (1)

$R = (0{,}9)^6 = 0{,}53$

iar dacă $R_i = 0{,}8$,

$R = (0{,}8)^6 = 0{,}26$.

Valorile de mai sus arată clar că o serie mare de actiuni de luptă nu pot conduce la un nivel acceptabil de probabilitate de succes pentru o misiune. Cum s-a şi întâmplat, în exemplul de mai sus, misiunea a eşuat la prima componentă din operaţiunea de salvare.

2 Fiabilitatea operaţiunilor în paralel (redundante)

Un sistem de operaţiuni *în paralel*, denumit şi *sistem redundant*, conţine două sau mai multe componente. Sistemul va eşua doar dacă toate componentele vor eşua. Schema bloc pentru astfel de sisteme este arătat în Fig. 2.

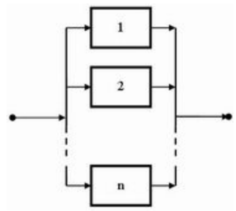

Fig. 2 Sistem paralel (redundant) de operaţiuni

Aceste sisteme sunt, descrise ca având redundanţă activă, unde toate componentele funcţionează, iar sistemul va funcţiona atâta timp cât cel puţin una din componentele paralele va funcţiona. Misiunea (operaţia) compusă dintr-o mulţime de evenimente nu se va îndeplini atunci când toate componentele individuale (acţiunile de luptă) vor eşua. Se poate exprima că:

$$P = P_1 P_2 \dots P_n = \prod_{i=1}^{n} P_i, \tag{2}$$

unde

$$P_i = 1 - R_i \tag{3}$$

reprezintă probabilitatea de eşuare a acţiunii de luptă i, iar R_i este probabilitatea de succes (fiabilitate) a acţiunii i. De aici, din definiţia fiabilităţii generale:

$$R = 1 - P = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)...(1 - R_n). \tag{4}$$

Un alt tip de sistem în paralel este unul cu *redundanţă stand-by*, ceea ce înseamnă că doar o componentă a operaţiei funcţionează la un moment dat (Fig. 3). Când acţiunea 1 eşuează, începe acţiunea 2 etc. Acest scenariu presupune o comandă şi control perfecte pentru detectarea acţiunii eşuate şi introducerea celei redundante.

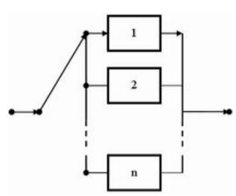

Fig. 3 Sistem de operaţiuni redundant stand-by

Operaţia generală va avea succes atât timp cât numărul de defecţiuni nu depăşeşte $n-1$, unde n este numărul total de acţiuni de luptă redundante. Metoda redundanţei stand-by este mai eficientă decât redundanţa activă, din moment ce doar o acţiune de luptă este ,,folosită" în operaţie.

În operaţiile militare, folosirea acţiunilor de luptă redundante active poate fi necesară pentru a asigura succesul întregii misiuni. Totuşi, dacă numărul acţiunilor redundante este excesiv, costurile operaţionale adiţionale duc la diminuarea câştigurilor şi la pierderi mai mari care nu sunt necesare. De obicei este nevoie doar de o acţiune (componentă) stand-by.

Redundanţa stand-by presupune că fiabilitatea acţiunii variază în funcţie de timp. Vom presupune aici că probabilitatea de succes (fiabilitatea) unui sistem stand-by este determinată de distribuţia Poisson. Expresia generală a unei distribuţii Poisson este dată de:

$$P\left(r\right)=\frac{\lambda^{r}}{r!}e^{-\lambda},$$

unde parametrii folosiţi au următoarele semnificaţii aparţinând unui sistem stand-by aşa cum este indicat între paranteze:

$P(r)$ = probabilitatea ,,evenimentului" (fiabilitatea sistemului pentru r evenimente),

r= numărul de evenimente (numărul de sisteme stand-by defecte),

λ = coeficientul (rata) de defectare (constant).

Presupunând că toate sistemele stand-by sunt identice, de unde:

$$\lambda=\mu t, \tag{5}$$

fiabilitatea $R^{(1)}$ pentru o singură acţiune de luptă devine

$R^{(1)}$= probabilitatea de succes fără defecţiuni ale sistemului ($r=0$)

$$=\frac{(\mu t)^{0}}{0!}e^{-\mu t}=e^{-\mu t}. \tag{6}$$

Se observă aici cum probabilitatea succesului (fiabilitatea operaţiei) scade în funcţie de timp. Operaţia are cel mai mare grad de succes când se termină repede, adică, atunci când elementul surpriză este exploatat din plin. Pentru două sisteme avem:

$R^{(2)}$= probabilitatea de succes fără defecţiuni ale sistemului ($r=0$)

+ probabilitatea de succes cu o singură defecţiune ($r=1$)

$$=\frac{(\mu t)^{0}}{0!}e^{-\mu t}+\frac{(\mu t)^{1}}{1!}e^{-\mu t}=\left(1+\mu t\right)e^{-\mu t} \tag{7}$$

şi pentru n sisteme, găsim (inducţie matematică):

$$R^{(n)} = \left[1 + \mu t + \frac{(\mu t)^2}{2!} + \cdots + \frac{(\mu t)^{n-1}}{(n-1)!}\right] e^{-\mu t}. \tag{8}$$

Ca un exemplu de sistem de trei componente (două acţiuni de luptă ulterioare care susţin prima acţiune) pentru care $\mu t = 0{,}5$:

$R^{(3)}$= (1 + 0,5 + 0,125)$e^{-0,5}$=0,985

Aceasta demonstrează că a doua acţiune de luptă de susţinere contribuie doar cu 0,076/0,985 (sau 7,7%) la succesul total al operaţiei. Astfel, se poate trage concluzia că în operaţiile militare nu se va folosi o a doua acţiune de luptă de sprijin.

3 Fiabilitatea acţiunilor de luptă combinate (în serie şi în paralel)

Componentele operaţiilor militare se pot combina parţial în serie şi parţial în paralel, aşa cum este prezentat în Fig. 4a. Pentru a obţine o fiabilitate generală, sistemul trebuie redus la un sistem de componente în serie, aşa cum este prezentat în Fig. 4b. Astfel, din ecuaţia (4), fiabilitatea ramurii 2,4 este:

$$R_{2,4} = 1 - (1 - R_{2,3})(1 - R_4). \tag{9}$$

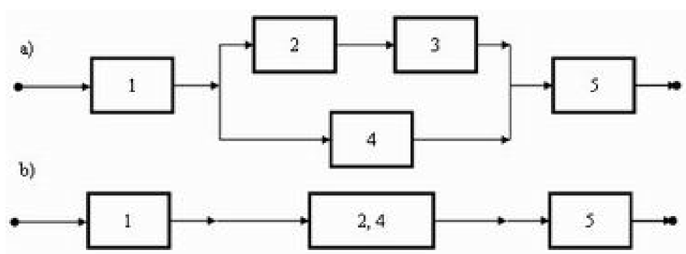

Fig. 4 Sisteme combinate de operaţiuni:

a) Operaţiuni combinate în serie şi paralel;
b) Operaţiuni în serie echivalente

Observând că, din ecuaţia (1),

$$R_{2,3} = R_2 R_3, \tag{10}$$

rezultă că:

$$R = R_1 R_{2,4} R_5 = R_1[1 - (1 - R_2 R_3)(1 - R_4)]R_5. \tag{11}$$

4 Exemplul unei lupte aeriene

Să considerăm cazul unui avion ce acţionează într-o luptă aeriană împotriva unei fregate aflată în marş. Presupunem că avionul de luptă este mai întâi alertat şi îndrumat spre ţinta aeriană de către un radar terestru şi apoi este ghidat de propriul său radar. La o distanţă corespunzătoare, avionul de luptă lansează două rachete împotriva fregatei care avansează. Rachetele au propriul lor sistem de ghidare, iar încărcătura de luptă este acţionată de focoase de proximitate. Fiabilităţile diferitelor componente pentru această luptă aeriană sunt următoarele:

R_g = fiabilitatea radarului terestru (***g***round),
R_a = fiabilitatea radarului aerian,
R_m = fiabilitatea sistemului de ghidare al rachetei (***m***issile),
R_w = fiabilitatea focosului încărcăturii de luptă (***w***arhead),
R_t = probabilitatea de distrugerea ţintei la impactul cu racheta.

Reprezentarea schematică a acestei lupte este arătată în Fig. 5. Astfel, scenariul luptei este reprezentat aici de o combinaţie de operaţiuni în serie, respectiv în paralel. Probabilitatea generală de succes a (fiabilitatea) acestei operaţii se poate calcula din:

$$R = R_g R_a [1 - (1 - R_m R_w)^2] R_t. \tag{12}$$

5 Variaţia fiabilităţii în funcţie de timp

Conceptele de fiabilitate dezvoltate pentru operaţii militare, se aplică şi în cazurile în care fiabilităţile componentelor variază în funcţie de timp. Variabila de timp a acţiunilor de luptă derivă din distribuţia densităţii probabilităţii de eşec ca o funcţie de timp. O distribuţie tipică a densităţii probabilităţii $f(t)$ este descrisă în Fig. 6. Trebuie observat că funcţia $f(t)$ este întotdeauna pozitivă adică, $f(t) \geq 0$, iar aria de sub funcţie între $t = 0$ şi $t = \infty$ este egală cu unitatea, adică:

$$\int_0^\infty f(t)\, dt = 1. \tag{13}$$

Funcţia f(t) din (3) este numită şi *distribuţia densităţii probabilităţii*. Dimpotrivă, distribuţia densităţii probabilităţii folosită mai sus are două variabile, pentru care:

$$\int_{-\infty}^\infty p(x)\, dx = 1 \tag{14}$$

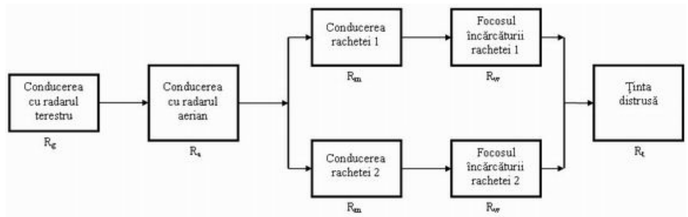

Fig. 5 Exemplu de model de fiabilitate a unei lupte aeriene

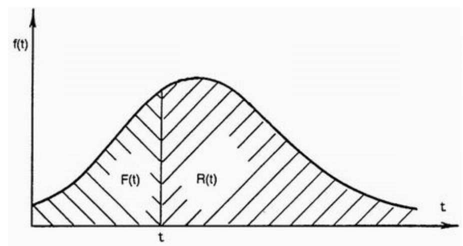

Fig. 6 Distribuţia densităţii probabilităţii de eşec

Funcţia de fiabilitate $R(t)$ este probabilitatea să nu apară nici un eşec înaintea momentului de timp t, având în vedere că acţiunea de luptă începe la momentul $t = 0$ şi este calculată astfel:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t)\, dt. \tag{15}$$

Aici funcţia F(t) este funcţia de eşec şi este dată de:

$$F(t) = \int_0^{t} f(t)\, dt, \tag{16}$$

care determină probabilitatea ca un eşec să apară până la momentul t, dat fiind că acţiunea de luptă începe la momentul $t = 0$. Funcţiile $F(t)$ şi $R(t)$ sunt reprezentate de zonele de sub funcţia densităţii probabilităţii, aşa cum arată Fig. 6.

Un parametru important în orice analiză a fiabilităţii este timpul mediu până la eşec (MTTF – ***M***ean ***T***ime ***T***o ***F***ailure), care este definit ca valoarea scontată a lui t pentru funcţia densităţii probabilităţii $f(t)$. Astfel,

$$\mathrm{MTTF} = E[t] = \int_0^{\infty} t\, f(t)\, dt. \tag{17}$$

Al doilea moment al distribuţiei $f(t)$ cu $t = \mathrm{MTTF}$ oferă o măsură a extinderii funcţiei în funcţie de valoarea ei medie. Se calculează din:

$$s^2 = E\left[t^2\right] - (\mathrm{MTTF})^2\,, \tag{18}$$

unde parametrul s^2 este descris ca fiind varianţa lui $f(x)$.

În afară de distribuţia densităţii probabilităţii $f(t)$, mai este şi o altă funcţie importantă folosită în analiza fiabilităţii. Această funcţie reprezintă un coeficient constant de eşuare definit ca raport dintre eşuarea acţiunilor de luptă componente şi unitatea de timp; se notează de obicei cu $\gamma(t)$. De asemenea, funcţia $\gamma(t)$ este numită şi funcţia de risc (***h***azard) şi se notează cu $h(t)$.

6 Concluzii

Lucrarea de faţă prezintă o modalitate de analiză calitativă a procedeelor de acţiune a forţelor navale în diferite operaţiuni, când aceste forţe acţionează atât independent, cât şi în cooperare.

Analiza se poate aplica atât pe genuri de forţe omogene, cât şi heterogene. Când forţele sunt omogene, analiza poate fi punctiformă, iar când acestea sunt heterogene, analiza poate fi aplicată pe grupuri de forţe.

7 Bibliografie

1. Dhillon, B.S., *Mechanical Reliability: Theory, Models and Applications*, AIAA Education Series, AIAA, Washington, DC, 1989.

2. Special Report, *A Mission Comes to Grief in Iran*, Newsweek, 5 May 1980, pag 24-36.

3. Massey F.J. jr., *Kalonayorov-Smirnov Test for Goodness of Fit*, Journal of the American Statistical Association, Vol. 51, pag 68-78.

4. Goldnar, A.S. and T.B., Slottery-Mountoinobility, *A Major Element of Systems Effectualness*, John Wiley and Sons, New York, 1967.

5. Lawless, J.F., – *Statistical Models and Methods for Lifetime Data*, New York, Wiley, 1982.

6. Barlow, Richard E., and Frank Proschon, *Statistical Theory of Reability and Life Theory, Probability Models*, New York, N.Y, Molty Renchort and Winston, 1975.

Departamentul de Matematică
Academia Navală "Mircea cel Batrân"
Str. Fulgerului, nr.1, cod 900218, Constanţa, România