

INGINERIA LOGISTICII INTEGRATE

dr. ing. Constantin Sâmbotin

Institutul de Cercetări în Informatică

Rezumat: Logistica tehnică, funcție importantă a ciclului de viață al produsului industrial, reprezintă capacitatea acestuia de a îndeplini misiunea pentru care a fost proiectat, în condițiile de utilizare precizate și cu o durată de timp determinată.

Ingineria logisticii industriale, în viziune modernă, realizată în lăza de creație a produsului, pe baza conceptelor ingineriei concurente și a fabricației integrate prin calculator, în condițiile exigențelor cerute în exploatare, asigură produsului dimensionarea corectă și siguranță în funcționare, utilizând ca instrument important, modelarea matematică, de natură probabilistică, pentru reprezentarea proceselor de defectare și de natură logică, pentru stabilirea structurilor de logică, necesare funcționării corecte.

Cuvinte cheie:

- Logistica tehnică integrată (activitățile de fiabilitate, mentenanță și service).
- Evaluarea logisticii (fiabilitatea, mentenabilitatea și service-abilitatea).
- Analiza logisticii cu modele probabilistice, logice, de simulare și euristice.
- Metode ale ingineriei concurente și ale fabricației integrate prin calculator.

1. Introducere

Logistica tehnică are în conținut fiabilitatea, mentenanța și service-ul, activități strâns legate funcțional, care mențin produsul în bună stare de funcționare și a căror evaluare necesită utilizarea unor modele matematice complexe, comune sau specifice.

Logistica are, ca măsură, următoarele principale componente: fiabilitatea, mentenabilitatea și service-abilitatea, mărimi care pot fi evaluate cantitativ și calitativ, cu modele matematice care descriu procesele de viață, întreținere și defectare ale produsului.

Ingineria logisticii determină abilitatea unui produs de a rămâne funcțional un timp specificat și exprimă probabilitatea ca produsul să realizeze funcția primitivă cerută, în condițiile statuate, în intervalul de timp precizat.

Conceperea și proiectarea tradițională a produselor nu au ținut seama de cerințele logisticii și de evaluarea acestora, ceea ce a creat mari dificultăți în exploatarea produsului cu insatisfacții la utilizator.

Ingineria logisticii, în cazul produselor decompozabile când sunt cunoscute funcțiile de logică ale componentelor, realizează o evaluare exactă a rezultatelor prin utilizarea modelelor logice și probabilistice, iar în cazurile produselor nedecompozabile sau ale celor existente în faza de proiectare preliminară, când nu sunt cunoscute funcțiile de logică ale componentelor, realizează o evaluare aproximativă a rezultatelor prin utilizarea modelelor markoviene și stocastice.

Ingineria logisticii se realizează pe baza unei metodologii adecvate, care precizează procedurile și fazele de derulare a procesului de analiză.

Evaluarea structurilor de logică ale componentelor și ale ansamblului unui produs, fiabilitate, mentenabilitate și service-abilitate, se realizează cu ajutorul unor modele logice pentru determinarea căilor de bună funcționare și cu ajutorul unor modele probabilistice ale timpului de viață. Astfel, modelarea logisticii, teoretică și practică, evaluează funcțiile de fiabilitate, mentenabilitate și service-abilitate atât probabilistic, datorită caracterului aleatoriu al proceselor de supraviețuire sau de defectare, prin indicatori specifici, ca ratele de defectare, timpii medii de bună funcționare și alții, ai unor distribuții exponențiale, normale, lognormale, gamma, Weibul și altele, cât și logic, datorită structurilor de fluentă, căilor minimale de bună funcționare, seriale, paralele și mixte, formate din clemente logice de tip și/sau.

Modelele cu distribuție exponențială au rata de defectare constantă, ca într-un proces stocastic Poisson, în care intervalele de timp dintre evenimente sunt variabile aleatoare independente, distribuite identic după distribuție exponențială. Modelul de defectare este concretizat prin funcția de probabilitate F a timpului de viață al unui component, reprezentată printr-o variabilă aleatoare continuă T și printr-o instanțiere a acesteia, reprezentată printr-un timp specific t și este: $F(t) = Pr \{T < t\}$.

Pentru modelul exponențial, distribuția de probabilitate este: $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, densitatea de probabilitate este $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$, rata de defectare este constantă $h(t) = \lambda$, iar timpul mediu de defectare, inversa ratei constante, este $E(t) = 1/\lambda$.

Distribuția exponențială este limitată datorită ratei constante de defectare și se aplică când defectarea apare ca un rezultat al șocurilor aleatoare, și nu al îmbătrânirii.

Modelele cu distribuție gamma sunt extensii ale distribuțiilor exponențiale și sunt derivate ca distribuții de timp la evenimentul k dintr-un proces Poisson. Variabila aleatoare gamma poate fi obținută ca sumă a k variabile aleatoare independente, distribuite exponențial, fiecare cu rata de defectare λ . Funcția densității variabilei

gamma T este: $f(t) = \frac{\lambda^k t^{k-1}}{\Gamma(k)} e^{-\lambda t}$, $k > 0$, $\lambda > 0$ și unde

$\Gamma(\cdot)$ este funcția gamma cu λ și k parametrii de scală și formă; distribuția variabilei gamma când k

este întreg este: $F(t) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}$

Modelele cu distribuție Weibull combină aspectele matematice mai largi ale distribuțiilor exponențiale cu flexibilitatea distribuțiilor gamma și au:

Funcția de distribuție Weibull:

$$F(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right\}, t \geq 0.$$

Funcția de densitate:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left\{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right\}, t > 0.$$

Rata de defectare:

$$h(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1}, \beta, \alpha > 0, t > 0.$$

Rata de defectare a distribuției Weibull este în t crescătoare pentru valori $\beta > 1$, descrescătoare pentru $\beta < 1$ și constantă pentru $\beta = 1$, unde α și β sunt parametrii de scală și de formă; distribuția exponențială este o distribuție specială Weibull cu $\beta = 1$. Modelele Weibull sunt aplicabile la o mare varietate de scenarii de defectare deoarece au o formă flexibilă a funcției ratei de defectare.

2. Modelarea fiabilității

Modelele de fiabilitate sunt modelele probabilistice, ce reprezintă fenomenele aleatoare de defectare, și modelele logice, de structură sau grafurile de legături, care sunt reprezentări bazate pe succes (bună funcționare) sau insucces (defectare), compuse din elemente de bază dispuse, în general, în serie și, în unele cazuri, în paralel, ca elemente redundante, care, la căderea unui element, asigură totuși funcționarea produsului.

Modelul de fiabilitate cu structura serie, pentru a funcționa, are nevoie de buna funcționare a tuturor componentelor. Fiabilitatea, în cazul defectării independente a elementelor serie, atunci când defectarea unui element nu atrage defectarea altora, este:

$$R_s(n) = \prod_{i=1}^n R_i$$

unde R_i este funcția de fiabilitate a elementului i .

Modelul de fiabilitate cu componente în serie ce au densitățile de probabilitate exponențiale, este:

$$R(t) = e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t} \dots e^{-\lambda_n t} = \exp[-\lambda_1 t].$$

Fiabilitatea este în acest caz: $R(t) = e^{-\lambda t}$.

unde $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$ este rata defectării produsului, cu ratele defectării componentelor, iar t este timpul de funcționare.

Media timpului de bună funcționare $MTBF$, inversul ratei de defectare, se exprimă prin $1/\lambda$ și reprezintă raportul dintre intervalul total de funcționare față de numărul total al defectelor.

Fiabilitatea este, în acest caz:

$$R(t) = e^{-t/MTBF}$$

Modelul de fiabilitate cu structură paralelă, cu redundanță, în cazul defectelor independente, asigură buna funcționare a produsului când este asigurată, cel puțin, buna funcționare a unui component și este:

$$R_p(n) = 1 - F_p(n) \text{ sau } R_p(n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

unde R_i este fiabilitatea elementului i și $F_p(n)$ este probabilitatea de defectare a produsului.

Modelul de fiabilitate cu structură mixtă, combinații serie-paralel și paralel-serie, este:

$$R_m(n) = 1 - \prod_{j=1}^k (1 - \prod_{i=1}^n R_{ij})$$

unde $R_m(n)$ și R_1, \dots, R_i sunt probabilități de supraviețuire a unui produs și a componentelor sale, într-un interval de timp.

3. Modelarea service-abilității

Service-abilitate, ca măsură a ciclului de viață al produsului, evaluează capacitatea de a îndeplini toate operațiunile ce privesc service-ul și ia în considerare factori ca fiabilitatea, accesibilitatea, disponibilitatea de piese și instrumente, preferințele clientului, modularitatea, reglabilitatea, ajustabilitatea, instruirea, costul etc.

Service-ul, ca activitate, diferă de mentenanță, deoarece activitatea sa principală este inspecția periodică, care poate include și verificări de mentenanță.

Service-abilitatea are următoarele componente principale: *posibilitatea de diagnosticare*, care este

abilitatea de evaluare a cauzelor unei funcționări defectoase și poate recomanda acțiunile de service, *mentenabilitatea* care este abilitatea de evaluare normală sau de rutină a mentenanței și *posibilitatea de reparare*, care este abilitatea de evaluare a reparării defectelor și a schimbării pieselor.

Modelele service-abilității analizează distribuțiile de defectare, mediile timpilor dintre defecte și dintre mentenanțe și alți parametri care pot asigura corectarea sau prevenirea defectelor, stabilirea consecințelor defectului și a modului de corectare, reducerea timpului și costului service-ului.

Modelele evaluează costul ciclului de viață al service-ului și sunt de două feluri, în funcție de componente și de fenomene.

Modelul funcție de componente analizează funcționarea defectoasă a unui component sau unui grup de componente și urmărește detectarea componentului defect și descrierea modului de reparare.

Modelul funcție de fenomene analizează fenomenele care au dus la defectare.

Modelul de service-abilitate funcție de componente are rolul să determine costul ciclului de viață pentru service:

$$CCI_{sc} = \sum_{i=1}^n C_i R_i$$

unde:

CCI_{sc} este costul ciclului de viață pentru service în funcție de componente;

C_i este costul de reparare pentru componenta i ;

R_i este fiabilitatea componentei i ;

n este numărul de componente din sistem.

Modelul de service-abilitate funcție de fenomene determină costul ciclului de viață pentru service:

$$CCI_{sf} = \sum_{i=1}^m M_i R_i$$

unde:

CCI_{sf} este costul ciclului de viață al service-ului funcție de fenomene;

R_i este fiabilitatea componentei i ;

M_i este costul reparației fenomenului i .

Modelul service-abilității funcție de fenomene poate exprima costul service-ului:

$$M = f(L_t, L_r, T, E, C_{rp}, A_{rp})$$

Revista Română de Informatică și Automatică, vol. 8, nr. 1, 1998

unde:

L_t este timpul de lucru total consumat pentru repararea;

L_r este rata de lucru, media costului pentru o oră;

T este un factor legat de instrumentele și sculele necesare realizării reparației;

E este factor legat de nivelul de instruire necesar;

C_{rp} este costul piesei înlocuite;

A_{rp} este disponibilitatea piesei în vederea înlocuirii.

Modelul de service-abilitate funcție de indicele total al ciclului de viață ține seama de mai mulți indici care privesc service-abilitatea, costul ciclului de viață, costul piesei și altele; este o măsură a compatibilității proiectului cu diferitele costuri de piese, scule și service:

$$ITCV = I \cdot N \sum_{i=1}^N MI_i$$

unde:

$ITCV$ este indicele total al ciclului de viață;

MI_i este indicele individual de cost al elementului i ;

N este numărul de elemente luate în calcul.

Indicele de service-abilitate dă utilizatorului o idee de felul de încorporare a service-abilității într-un proiect și compară două proiecte în termenii service-abilității.

Modelul indicelui de estimare a costului ciclului de viață al service-ului este:

$$IS = I \cdot N \sum_{i=1}^N [(A_{li}A_{lr} + A_{p,c} + A_{p,m} + A_r + A_c) f]_i$$

unde:

IS este indicele de service-abilitate;

A_{li} este timpul de lucru pe component;

A_{lr} este costul lucrului pe oră pe component;

$A_{p,c}$ este costul piesei înlocuitoare pe component;

$A_{p,m}$ este disponibilitatea piesei înlocuitoare;

A_r este necesarul de scule;

A_c este necesarul de instruire;

f este frecvența;

N este numărul total de operații de lucru.

Analiza modelelor dă un cadru pentru evaluarea service-abilității și sugestii pentru reproiectarea produsului.

4. Modele de mentenabilitate

Mentenabilitatea este măsura abilității de a menține în funcțiune sau de a restaura un produs și se exprimă prin probabilitatea ca o intervenție preventivă sau o reparație planificată să fie realizată într-un interval de timp, în condițiile stabilite legate de proceduri, personal și resurse disponibile.

Modelarea mentenabilității asigură optimizarea și analiza distribuțiilor de defectare, a timpilor de mentenanță, a mediilor timpilor de reparație funcție de numărul de elemente de înlocuit, a timpilor medii de reparare și a ratelor de defectare, parametri necesari pentru stabilirea componentelor candidate la înlocuirea preventivă și pentru determinarea timpului optim de înlocuire pentru evitarea căderii catastrofale.

Modelele de mentenabilitate au la bază distribuțiile de defectare, de obicei, reprezentările cu distribuție Weibull, unde fiabilitatea este reprezentată prin:

$$R(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right] t > 0$$

unde α și β sunt parametrii de scară și de formă. Distribuțiile defectelor acoperă, prin modificarea parametrului de formă, un spectru foarte mare de cazuri, reprezentate cu rate de defectare crescătoare, descrescătoare sau constante. Modelele de mentenabilitate pot determina costul total al mentenanței.

Modelul costului total de mentenanță, când o componentă este înlocuită la intervale fixe de lungime t_p , ceea ce conduce la un interval optim al înlocuirilor, este:

$$C(t_p) = [C_p + C_f(H - t_p)] \cdot t_p$$

unde: $H(t_p)$ este numărul de înlocuiri la căderi în intervalul $(0, t_p)$.

C_p și C_f sunt costurile totale, de înlocuire preventivă, respectiv, de cădere.

Modelul costului mentenanței, când componenta este înlocuită în condițiile acumulării unei uzuri specificate cu vârsta, este:

$$C(t_p) = [C_0 P(t_p) + C_f (1 - R(t_p))] [t_p R(t_p) + M(t_p) (1 - R(t_p))]$$

unde: $R(t_p)$ este fiabilitatea la $t = t_p$, cu $f(t)$ funcția densității de probabilitate de cădere.

$M(t_p)$ este timp mediu de cădere când componenta a căzut înainte de timpul t_p .

Modelarea mentenabilității este strâns legată de modelarea privind testabilitatea, în special, auto-testabilitatea, pentru a utiliza un set minimal de echipamente de test cu care să se detecteze un număr maxim de defecte și pentru a determina

costurile suportului logistic al unui proiect, pe niveluri de reparații, cu selectarea nivelului optim.

Modelele de mentenabilitate fac apel la modelele posibilităților de reparare, care definesc punerea în funcțiune a unui component cu un cost minim al suporturilor logistice.

Modelele de mentenabilitate sunt legate de modelele privind inspecția, care pot defini criteriile de inspecție și criteriile de înlocuire a unor piese pentru prevenirea defectelor ceea ce reduce rata de cădere a pieselor.

Modelul de determinare intervalului optim de inspecție care face legătura cu indisponibilitatea produsului este exprimat:

$$D(n) = l(n) \cdot m + n \cdot i$$

unde: $D(n)$ este timpul total de defectare pentru frecvența de inspecție egală cu n .

$l(n)$ este rata apariției defectului pentru o frecvență de inspecție egală cu n .

m este timpul mediu de efectuare al unei inspecții.

i este timpul mediu al unei inspecții.

5. CONCLUZII

Ingineria logisticii integrate, în contextul ingineriei concurente, al ciclului de viață al produsului și al integrării fabricației prin calculator prezintă o importanță majoră pentru atingerea unor caracteristici tehnice calitative, competiționale. Valorile rezultate din ingineria logisticii se adresează întregului ciclu de viață al produsului, de la stagiile de concepție și de fabricație până la cele de exploatare. Evaluarea fiabilității, a service-abilității și a mentenabilității dețin un rol foarte important în etapa de concepție și de proiectare a produsului oferind posibilității de iterații necesare unei soluții optime.

Ingineria logisticii este realizată cu ajutorul unor instrumente bazate pe:

- modelele matematice, în special, probabilistice și logice și pot fi extinse la modele de simulare, de optimizare și euristice formate din expertiza umană;

- metodele de analiză și de proiectare a logisticii tehnice pentru a asigura produsului o dimensionare corectă, performanțe optime și cunoașterea abilităților de funcționare ale produsului;

- sisteme informatice de logistică, bazate pe arhitecturi integrate de proiectare asistată de calculator sau sisteme expert care pot acumula cunoștințe umane.

Bibliografie

1. **SÂMBOTIN, C.:** Sistem expert pentru fiabilitate. temă ICI-1996-1997.
2. **SÂMBOTIN, C.:** Proiectarea fiabilității în electronică. comunicare UPB- 1996.
3. **ALTING, L.:** Life Cycle Design of Products- Manufacturing Eng. 1994.
4. **BIROLINI, A.:** Design of Reliability. Concurrent Engineering - Wiley .1993.
5. **BARLOW, J.:** Mathematical Theory of Reliability - John Waley. 1989.
6. **FENVES, S.:** Reliability of Methods of Engineering Analysis-J.Wiley. 1985.
7. **GERSHENSON, J.:**Life-Cycle Serviceability - Concurrent Eng. J. Wiley. 1994.
8. **KUSIAK, A.:** Concurrent Engineering. Tools Techniques. J. Wiley. 1994.
9. **KLEMENT, M.:** Design for Mentenability - Concurrent Eng. Wiley. 1994.
10. **MAZZUCHI, T.:** Reliability Engineering - Concurent Engineering. 1994.