

INFORMATICĂ PENTRU FIABILITATE ȘI FIABILITATE PENTRU INFORMATICĂ

Alexandru A. Popovici

Universitatea Româno – Americană

Adrian Mihalache

Universitatea Politehnica București

Rezumat: După un scurt istoric al originilor teoriei matematice a fiabilității, lucrarea prezintă principalele concepte ale acestei teorii și o tipologie a modelelor de fiabilitate pentru sistemele complexe. Se descriu, pe de o parte, cele mai importante momente ale evoluției în România a sintezelor teoretice asupra fiabilității sistemelor și ale realizării programelor de calcul fiabilistic, iar pe de alta – aplicațiile fiabilității în proiectarea și evaluarea echipamentelor, programelor și operatorilor umani.

Cuvinte cheie: teoria fiabilității, modele matematice, calculatoare, programe, operatori umani.

1. Scurt istoric al fiabilității

Nașterea fiabilității ca disciplină tehnică a fost marcată de două evenimente: unul militar, altul științific. În 1949, Robert McNamara, pe atunci secretar de stat pentru apărare al Statelor Unite, a ordonat un exercițiu de alarmă generală, în scopul verificării stării tehnice a echipamentelor militare. Rezultatul a fost îngrijorător: aproape 80% din tehnica de luptă de înaltă performanță era, pe moment, inutilizabilă. Explicația era că sofisticarea sistemelor complexe, bazate pe tehnologia electronică, implica nesiguranța în capacitatea lor de funcționare la parametrii așteptați. Prețul plătit pentru înalta performanță era imprevizibilitatea. În același an, Claude Shannon, fondatorul teoriei informației, publica în vestita revistă *Bell Systems Technical Journal* articolul *Circuite fiabile din relee mai puțin fiabile*. Pentru realizarea funcțiilor logice, sistemele de automatizare nu foloseau încă transistoare, cu atât mai puțin circuite integrate, ci relee. Acestea erau componente electromecanice, care se blocau adeseori. Shannon propunea o concepție nouă a circuitelor, redundanța, conform căreia, prin utilizarea mai multor componente decât cele strict necesare îndeplinirii funcției, se obțineau sisteme mai puțin sensibile la defectările unora dintre elementele lor. Astfel, creativitatea științifică și acuratețea militară, dar și cerințele industriei, au impus un nou termen: **fiabilitatea**.

În anii 50, teoria fiabilității s-a dezvoltat în cadrul științei generale a sistemelor, urmărind să controleze, pe baza unor modele matematice sofisticate, procesele de degradare ale acestora. Dezvoltarea acestei teorii s-a făcut, după cum vom vedea, într-un paralelism relativ riguros (dar decalat în timp), cu teoria algebrică a mecanismelor automate, la care și-a adus o contribuție majoră Grigore C. Moisil. Ea constituie încă o confirmare a ideilor lui, că aplicarea științei celei mai abstracte în producție se face sigur, mai devreme sau mai târziu, dar nu se poate face planificarea aplicării ei, aceasta fiind imprevizibilă, așa cum am arătat, într-un capitol dedicat operei sale, în [27].

Anii 1960 au adus cu sine mari proiecte, în care fiabilitatea era crucială. Cercetarea spațială, construcția centralelor nucleare și a calculatoarelor de mare performanță îmbogățeau conceptul de fiabilitate, adăugându-i aspecte noi. Atunci a apărut și o carte de sinteză, care a rămas clasică și care a fost mulți ani folosită ca manual în universitățile americane [2].

Cercetările de fiabilitate erau menite să îmbunătățească gradul de previzibilitate al sistemelor complexe, de care depindeau din ce în ce mai mult procesele tehnice, economice și sociale, defecțiunile acestora putând duce la enorme pagube materiale și umane (cum au fost mai târziu cele ale platformelor de foraj marin sau al centralei nucleare de la Cernobîl), ceea ce a impus conceptele de risc și securitate. Miniaturizarea componentelor electronice, concomitent cu creșterea fiabilității lor, ca și apariția, la sfârșitul anilor 70, a rețelelor de calculatoare, au dus la mutarea centrului de interes al teoriei fiabilității, de la circuite la rețele. Rezultatele cercetărilor s-au publicat mai ales în revistele *Technometrics*, *IEEE Transactions on Reliability*, *IEEE Transactions on Computers*, *Nuclear Engineerig Design*, apoi și în *Microelectronics and Reliability* sau *Nuclear Safety*.

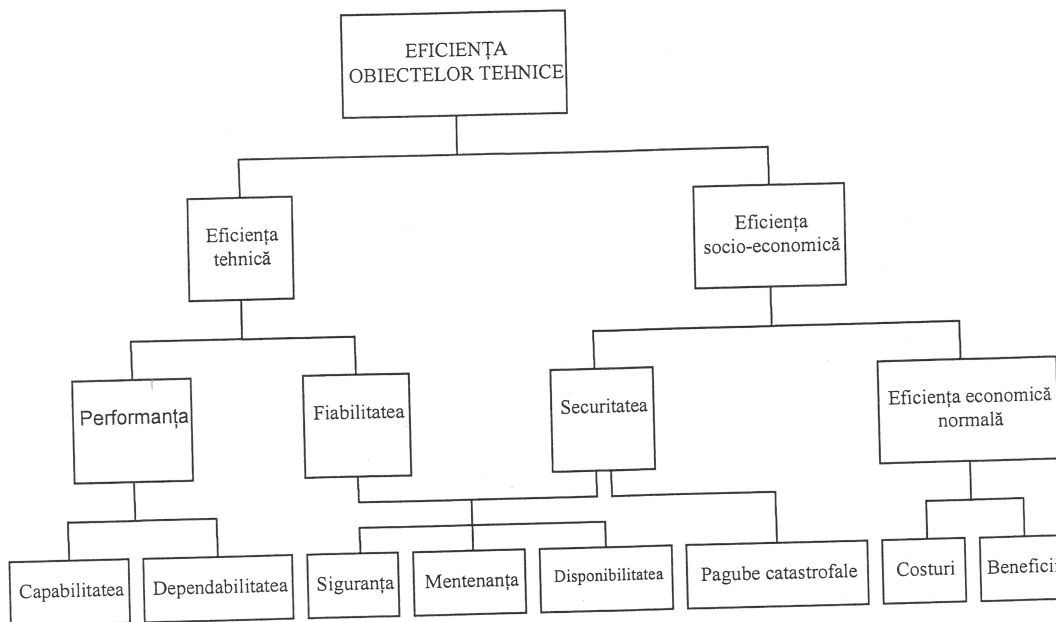
2. Concepte fundamentale ale fiabilității

Într-un obiect tehnic se pot distinge mai multe aspecte, ce au focalizat pe rând interesul cercetărilor de fiabilitate: echipamentul (*hardware*), programele (*software*) și procedurile organizatorice bazate pe oameni (*orgware*), de utilizare, întreținere și reparare. Conceptele de bază ale fiabilității trebuie înțelese în cadrul

eficienței E a obiectelor tehnice, cu cele două aspecte ale ei — tehnic-operational și socio-economic. În primele decenii ale cercetărilor de fiabilitate, accentul s-a pus pe partea de echipament a obiectelor tehnice, această orientare punându-și amprenta asupra modului de definire a conceptelor fundamentale.

Eficiența tehnică E' a obiectelor poate fi definită drept capacitatea lor de a efectua corect un serviciu, pe un interval de timp dat dacă operează în anumite condiții prescrise. E' este dependentă de doi factori: performanța (referitoare la nivelul calitativ al serviciului) și fiabilitatea în sens larg (indicând cât de sigur este acest serviciu).

Performanța este caracterizată prin dependabilitate și capabilitate, iar **fiabilitatea** în sens larg (sau încrederea) — prin siguranță, mentenanță și disponibilitate.



Dependabilitatea D este capacitatea obiectului de a continua să opereze pe parcursul îndeplinirii misiunii, dacă este disponibil la începutul misiunii. **Capabilitatea C** este capacitatea acestuia de a furniza un serviciu corect, dacă este disponibil și dependent.

Siguranța (sau fiabilitatea în sens restrâns) R este capacitatea obiectului de a opera, la un moment sau pentru o perioadă de timp date, dacă este folosit în anumite condiții prescrise.

Mentanța sau **mentenabilitatea M** este capacitatea obiectului de a putea fi menținut sau repus într-o stare de performanță dorită, într-un timp dat, dacă întreținerea sau repararea sunt făcute urmând procedurile și folosind resursele prescrise.

Disponibilitatea A caracterizează capacitatea obiectului, la un moment sau pe un interval de timp date, de a opera, dacă este folosit în anumite condiții prescrise și este reparat sau întreținut în mod corespunzător. Așadar, A (privind alternarea dintre serviciul corect și cel incorect) este o rezultantă a lui R (privind continuitatea serviciului corect) și a lui M (când funcționarea este întreruptă).

Mărimile D , C , R , M și A se exprimă prin probabilități (condiționate sau nu), iar un indicator sintetic al lui E' poate fi obținut din produsul unora dintre acești indicatori parțiali (de exemplu, ca produs dintre A , D și C , în „modelul ADC”, folosit de forțele aeriene ale SUA într-o anumită perioadă).

Pe de altă parte, din punctul de vedere al **eficienței socio-economice E''** , serviciile corecte și incorecte au diverse **consecințe**, care pot apărea ca favorabile (profituri, beneficii etc.) sau nefavorabile (costuri, daune etc.). Consecințele nefavorabile, produse de servicii incorecte, pot fi la un nivel acceptabil (normal), dacă sunt de același ordin de mărime cu consecințele favorabile, sau pot fi la un nivel catastrofal (anormal), când consecințele favorabile sunt neglijabile în comparație cu cele nefavorabile. Asemenea consecințe catastrofale, cum ar fi numeroase deteriorări ale sănătății și vieții oamenilor, ale mijloacelor fixe și materialelor, se află în centrul analizelor de securitate.

Așadar, E'' depinde de eficiența normală a obiectului și de securitatea lui. **Eficiența normală E''** este dată de relația dintre costurile și profiturile normale, iar **securitatea S** a obiectului este capacitatea lui de a

evita defecțiuni cu consecințe catastrofale. S depinde de frecvența și durata defecțiunilor, precum și de valoarea sau disutilitatea pagubelor asociate, fiind un concept complementar riscului catastrofal. **Riscul** (în sens general) atașat unei consecințe nefavorabile este măsurat prin produsul dintre probabilitatea producerii ei și valoarea sau disutilitatea pagubei asociate. Riscul total al unui serviciu incorect este dat de suma tuturor riscurilor asociate lui.

Adesea, efectele sistemelor tehnologice asupra celor sociale și naturale sunt evaluate în termeni economici. Totuși, trebuie să fim conștienți că nici sistemele sociale, nici cele naturale, deci nici efectele asupra lor, nu sunt reducibile la cele economice, iar abordările de acest gen au limite inerente.

Din cele de mai sus, rezultă importanța fiabilității în sens larg pentru eficiența E a obiectelor tehnice, de ea depinzând atât eficiența tehnică E' , cât și cea socio-economică E'' . Astfel, ea a ajuns un subiect de interes la intersecția a patru domenii ale cunoașterii: tehnologia (prin cercetarea inginerescă de îmbunătățire a fiabilității componentelor și a structurii sistemelor), matematica (prin modelele și metodele probabiliste și statistice), știința economică (prin rolul fiabilității în calitatea și costul produselor) și ecologia (prin dimensiunile de risc și securitate).

3. Tipologia modelelor matematice ale fiabilității sistemelor

Un sistem tehnic poate fi privit ca un ansamblu de componente între care există niște legături și care acționează ca un întreg în raport de mediul înconjurător. Atât sistemul tehnic, cât și componentele sale sunt obiecte tehnice și li se aplică noțiunile stabilite mai sus.

Studiul matematic al fiabilității sistemelor explorează relația dintre proprietățile componentelor și cele ale sistemului. El poate fi de trei tipuri, în raport de condițiile de calcul: previzional, intrinsec sau operațional. Fiabilitatea previzională este calculată pe baza unui model matematic definit în raport de datele din proiectul sistemului și de fiabilitatea intrinsecă a componentelor. Fiabilitatea intrinsecă este estimată în cursul unor probe specifice, efectuate în cadrul unui program de încercări definite complet. Fiabilitatea operațională este măsurată în timpul exploatarei normale a sistemului și depinde de condițiile reale de utilizare și reparare a acestuia.

Modelele matematice privind fiabilitatea sistemelor se împart, în raport de metodele matematice folosite, în două categorii: modele probabiliste (în care proprietățile sistemului sunt deduse din proprietățile componentelor și din relațiile și interacțiunile acestor componente, folosind metode probabiliste) și modele statistice (care se bazează pe observații asupra totalității sistemului în diverse condiții, folosind metode statistice). Modelele probabiliste sunt utilizate, mai ales, în studiile de fiabilitate previzională, pe când modelele statistice sunt folosite, mai ales, în studiile de fiabilitate estimativă și operațională.

Un loc aparte îl ocupă, în cadrul fiabilității previzionale și celei operaționale, optimizarea sistemelor, în general, fie prin maximizarea fiabilității, cu restricții de costuri, fie invers, prin minimizarea costurilor, cu restricții de fiabilitate.

Realizarea inginerescă a fiabilității sistemelor se face fie acționând asupra fiabilității componentelor fie asupra aranjării acestor componente în structuri convenabile, fie (mai nou) printr-o sinteză a acestor două căi — în sistemele tolerante la defectări, ce prelucrează erorile și reconfigurează automat structura de redundanță.

La rândul lor, modelele probabiliste de fiabilitate previzională se pot împărți în două tipuri: modele structurale și modele procesuale (dar există și unele modele mixte, ieșite din combinarea acestor tipuri pure).

Modelele structurale reflectă, în special, structura sistemului, adică relațiile între componente și dintre evenimentele atașate lor. Aceste relații sunt descrise folosind fie teoria algebrică a funcțiilor logice (în modelele logice), fie teoria grafurilor și a rețelelor probabiliste (în modelele reticulare). Funcțiile folosite în modelele logice sunt fie multilineare (sume de produse logice sau produse de sume logice), fie arborescente (arbori de evenimente sau de defecțiuni).

Modelele procesuale reflectă, mai ales, evoluția în timp a sistemului, trecerea lui dintr-o stare în alta, în special, cu ajutorul lanțurilor Markov și semi-Markov cu timp continuu și al rețelelor Petri.

În primele decenii ale teoriei fiabilității sistemelor, au fost dezvoltate, mai ales, modelele reticulare și cele markoviene, mai târziu - cele logice, iar apoi cele cu rețele Petri.

În modele logice și reticulare, se considera că sistemul și componentele au, în general, două stări (de bună funcționare, respectiv, de defectare), ele putând fi descrise prin algebre booleene binare cu anumite particularități. Esary și Proschan au inițiat în 1963 teoria funcțiilor de structură coerente (monoton crescătoare în raport de variabilele corespunzătoare componentelor), sintetizată apoi în monografia clasică a

lui Barlow și Proschan (1975). Tot în aceste tipuri de modele au o mare importanță căile și întreruperile (eventual minime), adică mulțimile de componente a căror funcționare, respectiv, defectare implică funcționarea, respectiv, defectarea sistemului. Sfârșitul anilor 70 a marcat apariția și apoi dezvoltarea funcțiilor de structură necoerente, ce folosesc direct implicații (eventuali primi) ai funcțiilor booleene binare, respectiv, ale dualilor acestora.

Mai târziu, au fost dezvoltate și modele logice pentru sisteme și componente având mai mult de două stări (mai ușor de manevrat prin modele markoviene), folosind funcțiile extins-coerente și logica lui Post, sistematizate de curând în monografia lui Lisnianski și Levitin (2003). Regăsim aici paralelismul cu teoria algebrică a mecanismelor automate, prin trecerea de la algebra booleeană la logicile lukasiewiczziene [21], [22].

Modelele logice arborescente sunt reprezentări structurale ale cauzelor defectării unui sistem, sub forma unei expresii logice arborescente. Într-o reprezentare grafică a acestora, sub forma unui graf arborescent, în nodurile terminale ale grafului sunt evenimentele de bază (evenimentele privind componentele elementare), în cele intermediare — porți de tip ȘI/SAU/NU (combinații logice de evenimente elementare și de alte porți), iar în rădăcina lui — evenimentul vârf sau final (defectarea sistemului). După cum se vede, acest tip de modele este „orientat spre defect”, spre deosebire de modelele logice multilinare, care sunt „orientate spre buna funcționare” (ele fiind reciproc duale). Dacă evenimentele de bază sunt numai defecțiuni ale componentelor, modelul se numește arbore de defecțiuni. Arborii de defecțiuni fără evenimente reparabile se notează cu AD, iar cei cu astfel de evenimente se notează cu ADER.

Modelele reticulare sunt reprezentări ale structurii de fiabilitate a sistemelor prin grafuri orientate sau nu, fiecărui arc atașându-i-se o componentă elementară și probabilitatea ei de funcționare. Se obțin astfel rețele de fiabilitate, orientate (RFO) sau neorientate (RFN).

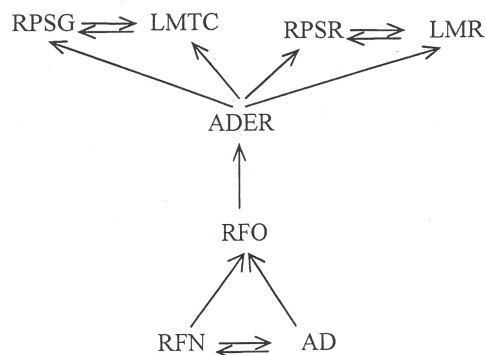
Modelele markoviene folosesc, de obicei, lanțuri Markov cu număr finit de stări, în timp continuu (LMTC). O tranziție dintr-o stare în alta a sistemului (a lanțului Markov) are loc când se defectează o componentă ce funcționează normal sau se termină reparația uneia ce era defectă. Dacă stărilor sistemului li se atașează niște rate de recompense, ce caracterizează performanța sau eficacitatea stării, se obțin lanțurile Markov cu recompense (LMR), ce permit o descriere mai simplă a fiabilității sistemelor.

Rețelele Petri sunt un tip particular de grafuri bipartite orientate, populate de trei tipuri de obiecte: locuri, tranziții și arce orientate, ce unesc locurile cu tranzițiile și tranzițiile cu locurile. Fiecare loc poate conține un număr pozitiv sau nul de simboluri/tokeni. Rețelele Petri marcate se obțin prin definirea unor marcate, adică a unor funcții din mulțimea locurilor în mulțimea numerelor naturale, indicând (prin distribuirea simbolurilor în locuri) starea sistemului modelat. Rețelele Petri programate stocastice sunt rețele Petri marcate, în care evoluția în timp a sistemului poate fi descrisă prin atașarea, la fiecare tranziție programată, a unei variabile aleatoare temporale, indicând eventuala ei întârziere. Când timpii de întârziere au repartiții exponențiale, rezultă rețelele Petri stocastice (RPS) simple, dacă sunt admise și transmisii imediate (cu timp de întârziere nul) — rețelele Petri stocastice generalizate (RPSG), iar dacă se introduc rate cu intensități de recompensare la nivelul fiecărui marcaj tangibil — rețelele Petri stocastice cu recompense (RPSR).

Atât modelele structurale, cât și cele procesuale folosesc intens teoria proceselor stocastice de reînnoire. Fiecare dintre tipurile și subtipurile descrise are anumite avantaje și dezavantaje. RFN modelează ușor sistemele serie-paralel sau rețelele reale de calculatoare, iar AD/ADER se pot mai ușor dezvolta pentru sisteme complexe, decât RFN/RFO, dar modelele logice nu pot modela adecvat comportamentul dinamic al sistemului și diversele situații sau politici de reparare, ele fiind adecvate, mai ales, în analiza sistemelor nereparabile și cu redundanță statică.

Dimpotrivă, modelele procesuale sunt adecvate atât sistemelor nereparabile, cât și celor reparabile, cu redundanță statică sau dinamică, cu prelucrare dinamică a defecțiunilor și erorilor, dar reflectarea structurii sistemului se construiește mai dificil cu LMTC, pentru sisteme mari și complexe.

Soluția care se impune este folosirea simultană a mai multe tipuri de modele (fiecare în domeniul său de maximă adecvare) și transformarea modelelor unele în altele, cu asigurarea compatibilității reprezentărilor. Două tipuri A și B sunt echivalente dacă orice model de tip A este transformabil într-un model de tip B și invers, iar A este subordonat lui B dacă transformarea este posibilă doar de la A la B. Astfel, se obține ierarhia alăturată a tipurilor de modele de fiabilitate a sistemelor.



4. Informatică pentru fiabilitate

Problemele de calcul pentru modelele de mai sus sunt de o mare complexitate, mai ales pentru sistemele mari. Pentru LMTC, ca și pentru RFN/RFO sau AD, au fost create de-a lungul timpului o mare varietate de programe. Modelele RPS, respectiv RPSG/RPSR, pot fi rezolvate prin transformarea cu ajutorul pachetelor de programe GreatSPN, respectiv SPNP, create de Chiola în 1985, respectiv de Ciardo în 1989, iar Sahner și Trivedi, care au studiat sistematic toate relațiile de transformare, le-au implementat în pachetul de programe SHARPE, în 1987.

Atenția informaticienilor și cercetătorilor, mai ales în fiabilitatea centralelor nucleare, s-a îndreptat în mod deosebit asupra unor programe pentru ADER (ce ocupă un loc central-superior în ierarhia modelelor), mai întâi asupra calculului cantitativ-probabilist, apoi asupra celui calitativ-structural, grupate de multe ori în pachete de programe, ele fiind descrise pe larg în [21].

În România, studii și cercetări de fiabilitate s-au făcut atât în instituțiile de învățământ superior (mai ales la Universitatea „Politehnica” și Academia de Studii Economice), cât și în institutele de cercetări cu profil tehnic (Institutul de Cercetări și Proiectări Electronice — ICPE, Institutul de Tehnică de Calcul — ITC, Institutul Național de Cercetare — Dezvoltare în Informatică — ICI București, Institutul de Cercetări Proiectări Energetice — ICPE ș.a.) sau matematic (fostul Centru de Statistică Matematică — CSM, și actualul Institut de Statistică și Matematici Aplicate). Introducerea teoriei fiabilității ca disciplină în învățământul superior și de doctorat s-a făcut în 1971, la inițiativa profesorului V. Cătuneanu, așa cum se făcuse în 1967 cu informatica, prin eforturile lui Grigore C. Moisil.

Nu stă în intenția și nici în posibilitățile noastre să facem o prezentare exhaustivă a acestor activități. Ne vom limita la cele pe care le cunoaștem mai bine, materializate în cărți de sinteză și programe de calcul al fiabilității, cu aplicație la echipamente informatice sau programe.

Începutul pare să fi fost făcut de A. Muja și E. Diatcu (de la ITCE), sub conducerea academicianului Gheorghe Mihoc (1977) și de V. Gh. Vodă (1980) de la CSM, în care sunt expuse fundamentele teoretice, respectiv metode statistice mai noi ale fiabilității, în contextul calității produselor. V. Gh. Vodă și Alexandru Isaic-Maniu (de la ASE) au publicat o serie de cărți de fiabilitate și calitatea produselor [10], [11], [12], [13], după monografie despre rețelele probabiliste, în care unele dintre aplicații se refereau la fiabilitate [29].

La fostul Institut Politehnic București, studiile de fiabilitate s-au desfășurat la mai multe facultăți, cu aplicație în domeniile corespunzătoare. Astfel, la Facultatea de Automatică, ele au fost coordonate de profesorul D.F. Lăzăroiu, concretizându-se în câteva manuale [14], [15], [16], [17] și o carte a foștilor săi studenți și doctoranzi, lucrând la IIRUC, ITC și ICI [7].

La Facultatea de Electronică și Telecomunicații, au fost publicate, sub conducerea profesorului V. Cătuneanu, o serie de monografii de fiabilitatea sistemelor, rezultând din dezvoltarea lucrărilor de doctorat ale colaboratorilor săi și acoperind în mod sistematic o mare parte a domeniului electronicii.

În prima dintre ele [3] sunt expuse bazele teoretice ale fiabilității, cu ajutorul diverselor familii de repartițiilor aleatoare, al proceselor de reînnoire și al lanțurilor Markov, un accent deosebit punându-se pe domeniul mai nou al inferenței bayesiene. Apoi, este trecută în revistă modelarea fiabilității sistemelor prin funcții de structură, arbori de defecțiuni și lanțuri Markov. După versiunea română a lucrării, a urmat una în limba engleză [3].

În [4] sunt explicate metodele de modelare ale sistemelor de comunicații cu două stări (prin funcții de structură și arbori de defecțiuni) și cu 3-4 stări (prin lanțuri Markov), precum și anumite modele ale fiabilității programelor, rețelelor de comunicații de tip trunchi sau fascicul și rețelelor de calculatoare. Sunt trecute în revistă și unele metode de optimizare a fiabilității sistemelor și sunt descrise câteva programe de calcul al fiabilității sistemelor binare, cu ajutorul căilor/întreruperilor minime (prin aproximarea Esary-Proschan și prin metoda de simulare Monte-Carlo), al arborilor de defecțiuni recunoașterea formelor (a modulelor acestor arbori, scrise în notația poloneză). Un alt program este destinat analizei fiabilității sistemelor cu mai mult de două stări.

În monografia dedicată sistemelor tolerante la defectări [5] se prezintă structurile de redundanță folosite în aceste sisteme, metodele de detectare a erorilor și de autotestare, tehnicile particulare de implementare a toleranței la defectări în echipamentele de calcul și în programe, iar în final — modelele matematice specifice evaluării fiabilității acestui tip de sisteme.

În [6] sunt trecute în revistă diferite metode euristice și riguroase de optimizare a fiabilității sistemelor, cu punctele lor tari și slabe, precum și dificultățile legate de cerința soluțiilor întregi. Se prezintă pe larg aplicarea în domeniu a programării dinamice, a programării neliniare în numere întregi, utilizarea multiplicatorilor Lagrange și a funcțiilor Lagrange generalizate, precum și a metodelor SUMT/SLUMT (Sequential/slaked unconstrained minimization technique). Se descrie pachetul de programe, realizat pentru implementarea ultimelor două metode, precum și două programe destinate optimizării alocării componentelor și întreținerii preventive, ca și optimizării în numere întregi a stocurilor de piese și module (prin metoda gradientului multiplu).

La Facultatea de Energetică, cercetări de fiabilitate mai intense s-au desfășurat, începând din 1976, în cadrul Colectivului de Ingineria Sistemelor și Cibernetică Industrială, prin cooperarea dintre A. V. Gheorghe și A. A. Popovici, iar din 1984 până în 1989 — numai prin ultimul.

În [8] sunt prezentate, în cadrul mai general al ingineriei sistemelor, modele de fiabilitate și întreținere prin funcții de structură cu două sau mai multe valori (multifuncționale), dar cu componente exclusiv binare, modele (semi)markoviene de diagnoză și de întreținere, precum și unele rezultate proprii, obținute în cadrul doctoratului din Anglia și SUA. În pofida titlului, cartea nu conține descrierea nici unui program. O formă lărgită a ei a fost ulterior publicată în limba engleză, prin coeditare [9]. Un program de calcul pentru fiabilitatea sistemelor multifuncționale a fost realizat de A.A. Popovici, în limbajul BASIC-2, iar apoi transpus în QuickBasic 4.5, prin funcții recursive.

O descriere unitară a diverselor modele ale fiabilității sistemelor complexe (prin funcții de structură coerente și prin arbori de defecțiuni), bazată pe teoria funcțiilor booleene și urmărind sistematic proprietățile de dualitate și consecințele lor, se face în monografia [24]. Se definesc conceptele de risc și de securitate, precum și problema determinării funcției de utilitate socială, cu diversele ei estimări. Se expun principiile generale ale proiectării asistate de calculator (CAD) a sistemelor și particularizarea acesteia la proiectarea fiabilității sistemelor, se analizează în lumina acestor principii diverse programe realizate în domeniu și se descrie sistemul de programe SECURIT, implementat de autor (începând din 1982) pe minicalculatorul WANG-2200 MVP. SECURIT conține mai multe programe de calcul (cu peste 15000 de instrucțiuni BASIC-2) și de raportare (cu peste 5000 de instrucțiuni RPL), el fiind integrat cu sistemul EASYFORM de întreținere a fișierelor secvențial-indexate (prin formulare pentru ecran) și cu sistemul GUS de reprezentări grafice a datelor numerice. Calculatorul, limbajele și sistemele de utilitare fuseseră descrise în [23].

Într-o consfătuire a unor specialiști din SUA, ale cărei rezultate au apărut în 1987, față de deficiențele observate la majoritatea programelor existente, se formulau următoarele condiții ce ar trebui să le îndeplinească sistemele CAD pentru fiabilitatea sistemelor:

1. să satisfacă necesitățile atât ale fazei de concepție, cât și cele ale adaptării ulterioare la constrângerile economice și ale reluării proiectării;
2. să satisfacă atât cerințele proiectantului, cât și pe cele ale inginerului de sistem și ale specialistului în fiabilitate;
3. să posede calități ingineresti reale, îmbinate cu analiza interactivă și iterativă;
4. să poată fi aplicate la mai multe niveluri: de la sistem la parte și de la parte la sistem;
5. să evite reintroducerea datelor (prin corelarea intrărilor cu ieșirile și prin folosirea bazelor de date);
6. să aibă o interfață prietenoasă, cu meniuri și ferestre;
7. să permită compararea rezultatelor cu cerințele și regulile, sfătuind proiectantul când apare o neregulă.

Cerințele 1-5 erau în mare parte îndeplinite de SECURIT, a șasea este îndeplinită de SECURIT-PC (descriș mai jos), iar ultima nu poate fi satisfăcută decât cu ajutorul unor sisteme-expert. Principalele sisteme de programe răspunzând acestor cerințe și orientate în special către EDER au fost SHARPE al lui Sahner și Trivedi (1987), folosind o tehnică ierarhică de modelare, RAES al lui Elliot (1994), pentru fiabilitatea sistemelor electrice și hidraulice, precum și FTAES al lui Gymayr și Ebeken (1995), ultimele fiind bazate pe anvelope de sisteme-expert.

5. Fiabilitate pentru informatică

În anii 90, dezvoltarea nano-tehnologiilor, a circuitelor integrate pe scară foarte mare (VLSI), a microprocesoarelor și a memoriilor magnetice ieftine au dus la creșterea fiabilității echipamentelor și pătrunderea informaticii în toate domeniile și la necesitatea interfețelor grafice prietenoase, orientate spre utilizator. Tehnicile de programare s-au adaptat și ele programării structurate și modulare adăugându-li-se programarea orientată spre obiecte. Creșterea volumului și a complexității programelor (ca și a riscurilor asociate funcționării lor incorecte) au dus la o deplasare a centrului de interes al cercetărilor de fiabilitate de la echipamente la programe.

Rod al unor preocupări mai vechi, dar și al stagiilor de cercetare efectuate după 1990 de către autor la Londra, München, Paris și Torino, monografia [19] reflectă aceste direcții noi de cercetare. La început, se evidențiază specificitatea lipsei de fiabilitate a programelor (care are ca surse variabilitatea datelor de intrare și a implementărilor chiar pentru același algoritm de rezolvare) și se precizează adaptările la care trebuie supuse terminologia și teoria clasică, arătându-se cum trebuie interpretate corect vechile măsuri la noul obiect. Se descriu pe larg modelele domeniului de intrare și ale domeniului de timp (împreună cu metodele de evaluare și validare statistică), indicând relațiile lor reciproce și aria de aplicație corespunzătoare. O atenție deosebită se acordă depanării imperfecte a programelor și folosirii întregii informații disponibile (prin metode de inferență bayesiană). Se arată în detaliu, la fiecare etapă a dezvoltării programelor, metodele aplicabile pentru creșterea fiabilității acestora (specificarea cerințelor, proiectarea, testarea și validarea modulelor, programarea defensivă, întreținerea programelor) atât pentru cele clasice, cât și pentru cele tolerante la defectări. Aceste metode au fost, în mare parte, urmate la dezvoltarea lui SECURIT-PC, descriș mai jos.

Monografia [26], autorul ei lucrând din 1989 la fostul Centru de Statistică Matematică al Academiei, reia într-o formă rezumativă, dar actualizată și completată, expunerea modelelor coerente ale fiabilității sistemelor, continuă cu cele reticulare, Markov și Petri (urmărind în toate formulările conceptele de căi/întreruperi, modularizare și simplificare, precum și relațiile de transformare), dar adaugă și noile modele pentru sisteme necoerente binare. Sunt apoi descrise etapele de proiectare a fiabilității sistemelor complexe:

1. construcția automată a arborilor de defecțiuni și a bibliotecilor de componente-tip (module);
2. analiza calitativă a arborilor (calculul implicanților primi și al întreruperilor minime ș.a.);
3. analiza cantitativă (calculul fiabilității punctuale și pe interval, al importanțelor probabile ale componentelor, al propagării erorilor);
4. optimizarea tehnico-economică a fiabilității.

Pentru fiecare din aceste etape se descriu și se compară diferiții algoritmi de calcul (inclusiv din punctul de vedere al complexității) și implementările lor, insistându-se asupra celor utilizați în sistemul de programe SECURIT-PC, îmbunătățirile față de SECURIT privind atât algoritmi și programele sau organizarea și gestiunea bazei de date, cât și interfața cu utilizatorul.

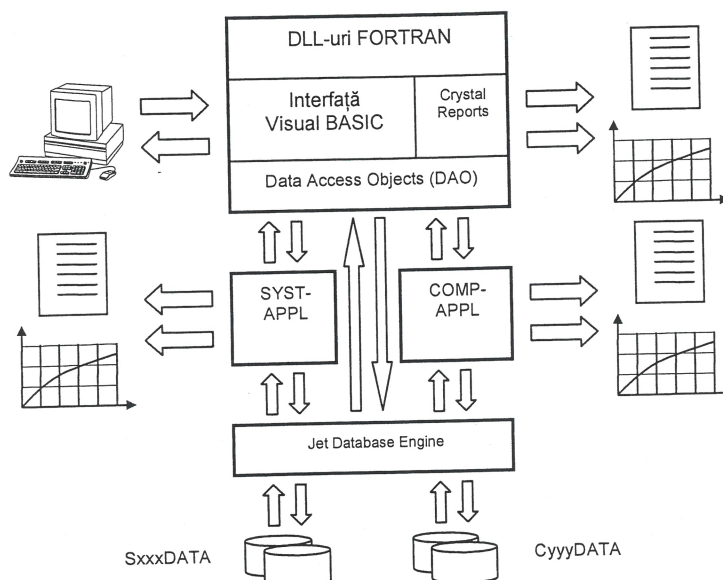
SECURIT-PC conține un set de programe de calcul, scrise în limbajele MS Visual BASIC (pentru interfață) și FORTRAN (pentru calcule), grupate în jurul unei baze de date relaționale (creată și întreținută cu MS Access). Atât programele de calcul, cât și Access definesc și manevrează obiectele bazei de date cu ajutorul lui MS Database Engine, dar prin intermediul Data Access Objects (DAO). Ele produc rapoarte și grafice cu ajutorul limbajelor de programare, al utilităților Crystal Reports sau al unor controlori speciali.

Un sistem poate fi descompus în 1-99 subsisteme funcționale, fiecare cu până la 10 variante. Fiecare variantă are până la 10 scenarii de defectare (structuri de evenimente vârf) și este descompusă în componente complexe (module) a căror structură și funcționare este descrișă într-o bibliotecă de componente-tip, fiecare cu până la 10 variante. Datelor structurale li se pot atașa caracteristici cantitative tehnice și economice, în vederea analizelor de fiabilitate și securitate. Toate structurile și valorile sunt

introduse în tabelele bazei de date, în vederea citirii și prelucrării lor ulterioare de către programele de calcul, iar rezultatele acestora sunt depuse automat și ele în tabelele corespunzătoare, pentru a putea fi prelucrate mai departe, datele și calculele fiind astfel integrate într-un flux continuu, ce micșorează posibilitatea erorilor.

Aplicațiile Access sunt separate în SECURIT-PC de tabele, fiind aflate în fișiere .MDB diferite. La rândul lor, fișierele cu tabele sunt de două categorii: cu date despre sistemele concrete (SxxxDATA.MDB, cu 35 de tabele) și cu date despre componente-tip (CyyyDATA.MDB, cu 10 tabele). Corespunzător, există două fișiere de aplicații Access (SISTAPPL.MDB și COMPAPPL.MDB), dar atâtea fișiere de date despre sisteme câte sisteme sunt analizate și oricâte fișiere de date despre componente-tip.

În SECURIT-PC, există 8 programe de calcul (câte două pentru fiecare din etapele de proiectare descrise mai înainte), optimizarea putându-se face atât fără restricții (prin programare dinamică booleană deterministă), cât și cu diferite tipuri de restricții (prin programare lineară booleană stocastică). Programele de calcul totalizează cca. 10000 de instrucțiuni Visual BASIC și cca. 6500 instrucțiuni FORTRAN, primele efectuând și anumite validări încrucișate ale datelor, iar ultimele fiind grupate în 12 biblioteci cu legături dinamice (.DLL), unele dintre ele folosite în comun de mai multe programe și fiind apelate de programele Visual BASIC.



SECURIT și SECURIT-PC au fost utilizate cu succes în analize de fiabilitate pentru calculatoare de proces, utilizate în industria chimică, dispozitive opto-electronice ale unor echipamente militare și dispozitive automate de frânare ale trenurilor de metrou.

6. Informatică și fiabilitate pentru oameni

Evoluția și răspândirea calculatoarelor și a celorlalte tehnici informatice nu au eliminat oamenii din procesele respective, așa cum greșit prevesteau unii. Dimpotrivă, interactivitatea și interfețele grafice i-au integrat și mai mult cu echipamentele și programele, proprietățile emergente fiind de multe ori neașteptate. Rolul oamenilor, al inteligenței, dar și al temperamentului și chiar al personalității lor a crescut, de cele mai multe ori cu efecte benefice, dar uneori și cu mari riscuri.

Cercetările de fiabilitate umană datează încă din anii 70, dar numai în ultimul deceniu s-ar putea spune că au devenit un domeniu de vârf. Rezultatele sunt interesante, dar ele trebuie să fie mult rafinate, având în vedere că omul nu este reductibil nici la un mecanism, nici la un organism, și că manifestările facultăților sale intrinseci depind de mediul organizațional și social al activității persoanei. Din acest punct de vedere, s-ar putea stabili un paralelism cu evoluția teoriilor organizaționale, de la cele autoritar-mecaniciste, la cele cibernetico-organiciste și la cele socio-umane. Soluția de sinteză, între necesitățile de coordonare superioară la nivelul ansamblului unui sistem complex și cele de autonomie a

deciziei la nivelurile mai scăzute, pare să fie oferită de teoria sistemelor ierarhice multinivel. Acestea îi corespunde în informatică distribuirea prelucrărilor, deciziilor și bazelor de date, aproape de locurile unde au loc acțiunile și apar datele, așa cum s-a arătat și în [25].

O unealtă eficientă în acest proces de matematizare a modelării comportamentului uman o constituie și mulțimile vagi (deja întrebuințate de sistemele-expert), care a fost utilizată încă de Grigore C. Moisil la sfârșitul anilor 60, sub numele de logica raționamentului nuanțat, ca depășire a opoziției dintre spiritul de geometrie și cel de finețe. Scepticismului celor care se îndoiesc de rezultatele acestui proces li se pot opune cuvintele lui: „ori de câte ori au fost indicate limite cunoașterii matematice, ele au fost depășite”.

Bibliografie

1. **BARLOW, R.E., F. PROSCHAN:** Statistical Theory of Reliability and Life Testing, Holt Rinehart and Winston, N.Y., 1975.
2. **BAZOVSKY, I.:** Reliability, Theory and Practice, Prentice-Hall, Englewoods Cliffs, N.J., 1961.
3. **CĂTUNEANU, V.M., A. MIHALACHE:** Bazele teoretice ale fiabilității, Editura Academiei, București, 1983.
4. **CĂTUNEANU, V.M., I. C. BACIVAROF:** Fiabilitatea sistemelor de telecomunicații, Editura Militară, București, 1985.
5. **CĂTUNEANU, V.M., A. BACIVAROF:** Structuri electronice de înaltă fiabilitate. Toleranța la defectări, Editura Militară, București, 1989.
6. **CĂTUNEANU, V.M., A. MIHALACHE:** Reliability Fundamentals, Elsevier, Amsterdam, 1989.
7. **CĂTUNEANU, V.M., F. POPENȚIU:** Optimizarea fiabilității sistemelor, Editura Academiei, București, 1989.
8. **GHEBER, T. ș.a.:** Fiabilitatea și mentenabilitatea sistemelor de calcul, Editura Tehnică, București, 1984.
9. **GHEORGHE, A.V.:** Ingineria sistemelor. Metode și tehnici de calcul, Editura Academiei, București, 1979.
10. **GHEORGHE, A.V.:** Applied System Engineering, Editura Academiei, București, J. Wiley, N.Y., 1982.
11. **ISAIC-MANIU A., V. G. VODĂ:** Ce este Calimetria?, Editura Tehnică, București, 1984.
12. **ISAIC-MANIU A., V. G. VODĂ:** Fiabilitatea — șansă și risc, Editura Tehnică, București, 1986.
13. **ISAIC-MANIU A., V. G. VODĂ:** Manualul calității, Editura Economică, București, 1997.
14. **ISAIC-MANIU A., V. G. VODĂ, A. C. DORIN:** Probleme statistice ale fiabilității, Editura Economică, București, 1984.
15. **LĂZĂROIU, D.F., I. ROMAN:** Controlul calității produselor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.
16. **LĂZĂROIU, D.F., D. STOICHÎTOIU:** Fiabilitatea sistemelor — teorie și proiectare, Editura Institutului Politehnic, București, 1982.
17. **LĂZĂROIU, D.F. ș.a.:** Tehnologia și fiabilitatea echipamentelor de automatizare și tehnică de calcul, Editura Institutului Politehnic, București, 1981.
18. **LĂZĂROIU, D.F. ș.a.:** Fiabilitatea, mentenabilitatea și diagnoza sistemelor de calcul, Editura Institutului Politehnic, București, 1982.
19. **LISNIANSKI, A., G. LEVITIN:** Multi-state System Reliability, Imperial College Press, Londra, 2003.
20. **MIHALACHE, A.:** Când calculatoarele greșesc...Fiabilitatea sistemelor de programe (software), Editura Didactică și Pedagogică, București, 1995.
21. **MIHOC, G., A. MUJA, E. DIATCU E.:** Bazele matematice ale teoriei fiabilității, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1997.
22. **MOISIL, Gr. C.:** Teoria algebrică a mecanismelor automate, Editura Tehnică, București, 1959.
23. **MOISIL, Gr. C.:** Funcționarea reală a schemelor cu contacte și relee, Editura Academiei, București, 1965.

24. **POPOVICI, A.A.:** Calculatorul WANG-2200 MVP. Sistemul de operare, limbajele BASIC-2 și RPL, programe utilitare, Editura Institutului Politehnic, București, 1981.
25. **POPOVICI, A.A.:** Proiectarea securității sistemelor complexe. Metode matematice și tehnici de calcul interactiv, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1988.
26. **POPOVICI, A.A.:** Sisteme informatice și baze de date relaționale, Editura Sylvi, București, 2000a.
27. **POPOVICI, A.A.:** Fiabilitatea sistemelor complexe. Proiectare asistată de calculator, Editura PRINTECH, București, 2000b.
28. **POPOVICI, A.A., A. MIHALACHE:** Humanism and Science, Editura Fundației Culturale Române, București, 2000.
29. **VODĂ, V.G.:** Noi modele ale durabilității produselor, Editura Academiei, București, 1980.
30. **WIENER, U.E., A. ISAIC-MANIU, V. G. VODĂ:** Aplicații ale rețelelor probabiliste în tehnică, Editura Tehnică, București, 1983.