



ELEMENTE ALE CIBERNETICII ÎN FUNDAMENTAREA DECIZIEI UNUI SISTEM DE CONDUCERE

ELEMENTS OF CYBERNETICS AT THE BASIS OF DECISION OF A MANAGEMENT SYSTEM

Col. (r) prof.univ.dr. Gelu ALEXANDRESCU*

Ca sistem științific multidisciplinar, cibernetica se bazează pe principii proprii care pot constitui elemente de bază în fundamentarea deciziei oricărui sistem dinamic complex, considerat „sistem de sisteme”.

As a multidisciplinary scientific system, cybernetics is based on principles which constitute its basic elements in making the decision within any complex dynamic system, considered as a “system of systems”.

Cuvinte-cheie: decizie; sistem de conducere; sistem cibernetic; principiile ciberneticii.

Keywords: decision; management system; cyber system; cybernetics principles.

Cibernetica modernă a apărut datorită, în principal, unor necesități militare din timpul războiului, care impuneau intervenția oamenilor de știință, ulterior, aceasta aducând un aport fundamental la apariția și dezvoltarea societății informaționale moderne, cu toate implicațiile ce au decurs din utilizarea sa.

Sistemele cibernetic¹ sunt sisteme de orice natură, a căror caracteristică esențială este conexiunea inversă (feedback). Un sistem cibernetic se compune dintr-un ansamblu de subsisteme, fiecare dintre acestea având o intrare și o ieșire, astfel încât subsistemele sunt cuplate între ele, ieșirea unui subsistem constituind intrarea altui subsistem component.

Sistemele de conducere la care se aplică *principiile ciberneticii* constituie elementele fundamentale ale oricărui sistem dinamic complex, considerat ca „sistem de sisteme” (federație de sisteme sau sistem mare).

Literatura de specialitate analizează din mai multe perspective aceste principii și oferă numeroase soluții cu aplicabilitate practică. Astfel, se pot evidenția² unele dintre *principiile ciberneticii*

moderne: ierarhizării conducerii; coordonării optime; conexiunii inverse (feedback); modelului intern; compatibilității (acordului) informaționale; predicției; compensației.

Principiul ierarhizării conducerii oferă cadrul organizatoric în care se aplică celelalte principii și prezintă conceptul general de sistem, ca reuniune a unor elemente corelate în mod determinat. Arhitectura funcțională a sistemului este esențială și definește raporturile dintre intrare, structură și ieșire, precum și elementele decizionale ale acestor raporturi.

În sistemele ierarhice, ca elemente componente definitorii, pot fi: nivelurile, mulțimea obiectelor de la același nivel, mulțimea subsistemelor sau a arborilor structurii ierarhizate analizate etc.

Dacă un sistem este astfel conceput încât intrările lui determină la ieșire parametrii liberi (variabilele) ai unei probleme de decizie, acesta constituie un *sistem decizional*.

La sistemele cibernetică cu structura ierarhică pe mai multe niveluri, este necesar să se definească, precis și complet, proprietățile structurale, care pot fi valorificate multilateral printr-o abordare matematică, dezvoltată pe baza unui concept general bine determinat.

În structurile ierarhice apar sisteme interconectate cu funcții diverse, la care trebuie să

*Universitatea Națională de Apărare „Carol I”
e-mail: alexandrescugelu@yahoo.com



se realizeze acordul informațional dintre niveluri cu viteze de răspuns diferite, pe baza convergenței fluxurilor informaționale cu conținut raționalizat și tipizat.

Principiul coordonării optime a unui sistem cibernetic asigură ca toate subsistemele componente ale acestuia să funcționeze eficient, într-o conexiune stabilă, astfel încât, pe baza deciziei luate, să realizeze obiectivele prevăzute, cu prioritate la nivelul întregului sistem, iar în secundar la nivelul fiecărui subsistem.

În orice sistem cibernetic, funcționarea este determinată³, nefăcându-se la întâmplare, ci pe baza unui ansamblu finit și bine determinat de legi și reguli, care caracterizează sistemul din punct de vedere funcțional, impunându-i structura.

Coordonarea sistemului cibernetic se realizează conform acestor legi și reguli, la care se adaugă ceea ce sistemul obține din exterior, adică informațiile care îi sunt furnizate și pe care el le poate interpreta în mod curent, cu implicații asupra evoluției sale viitoare.

Finalitatea funcționării sistemului se concretizează în ceea ce produce, adică, în sens general, prin informațiile furnizate de acesta către exterior. Evident, aceleași informații de intrare pot genera informații de ieșire diferite, corespunzătoare structurii sistemului cibernetic, legilor și regulilor care îi coordonează funcționarea.

Pentru funcționarea coerentă a sistemului⁴ trebuie îndeplinite următoarele condiții:

- o compatibilitate cât mai bună între obiectivul general al sistemului în ansamblu și obiectivele locale ale subsistemelor;
- deciziile subsistemelor să fie coordonate prin decizia sistemului central;
- deciziile centrale să fie optime și să asigure funcționarea integrată și armonioasă a întregului sistem ierarhizat.

Din punct de vedere matematic, principiul coordonării, în sensul rezolvării problemei centrale de decizie, presupune: problema centrală de decizie admite o soluție optimă pentru condițiile existente; subsistemele de la nivelurile locale sunt coordonate prin strategia impusă de sistemul central; problemele de decizie ale subsistemelor locale admit soluții integrabile în strategia generală a sistemului ierarhic.

Principiul coordonării optime are aplicabilitate în sistemele dinamice complexe cu structura

ierarhică, din multe domenii ale științei și tehnicii, inclusiv din domeniul militar, a căror funcționare este, de regulă, în timp real sau online. În sens restrâns, coordonarea în timp real se referă la faptul că după fiecare moment de coordonare, decizia sistemelor locale se execută în procesul de funcționare fără orice altă intervenție din partea sistemului central de coordonare, ceea ce contribuie la creșterea fiabilității.

Controlul central se realizează în mod discontinuu, iar între perioadele de coordonare centrală intervin elemente de incertitudine, care se rezolvă în etape succesive.

O largă aplicabilitate are principiul coordonării în sistemele informaționale militare care, datorită complexității deosebite și structurii ierarhice, necesită o programare continuă a regimului lor de funcționare în concordanță cu obiectivele operațiilor militare și cerințele lor informaționale.

Cea mai strictă aplicare a acestor principii are loc în sistemele de comandă și control de tipul C4ISR⁵, unde mulțimea subsistemelor componente necesită o coordonare optimă în timp real și online, în condițiile unui mediu puternic perturbat.

Principiul conexiunii inverse (feedback) este principiul fundamental al ciberneticii, care a fost studiat încă din anul 1942, de către N. Wiener împreună cu fizicianul Arturo Rosenbluth și neurologul Walter Cannon. El se referă la legăturile informaționale care transformă procesele de conducere (comandă și control) într-un ciclu informațional-decizional închis și furnizează sistemului informațiile necesare privind execuția.

Acolo unde nu există conexiune inversă între structura de execuție și cea de conducere, nu există de fapt conducere. De aceea, conexiunea inversă are caracter universal pentru toate sistemele funcționale cu autoreglare și autoorganizare.

Conform principiului reglării, pentru a se construi un algoritm bazat pe feedback trebuie să fie cunoscută în detaliu structura sistemului condus, precum și cea a perturbațiilor ce acționează asupra acestuia, ceea ce presupune existența unor informații exacte și complete. De altfel, se poate afirma că atunci când nu sunt certitudini privind satisfacerea restricțiilor, nu pot exista nici certitudini asupra îndeplinirii obiectivului sistemului.

Feedbackul poate fi pozitiv sau negativ. Mesajele pentru feedbackul pozitiv inițiază modificări în operarea sistemului până ce acesta tinde să-și atingă



performanțele, iar mesajele de autostabilizare și control în feedbackul negativ asigură ca sistemul să se mențină în regim stabilizat sau constant în cursul predeterminat al traiectoriei acestuia, având efect opus fenomenelor de distorsiune.

După modul de organizare⁶, feedbackul poate fi: anticipativ, informativ sau cu compensare.

Feedbackul anticipativ se regăsește în reflexele umane și animale, dar este tot mai mult folosit și în sistemele tehnice. Reflexele permit ființelor vii să prevină pericolele care pot acționa asupra acestora și să se apere, prin adoptarea unor măsuri corespunzătoare de protecție care, în general, depind de experiența socială acumulată. În sistemele tehnice, feedbackul anticipativ impune ca acțiunea acestora să aibă în vedere nu starea existentă din momentul realizării conexiunii inverse, ci una viitoare, care determină îndeplinirea obiectivului (misiunii) sistemului respectiv. Folosirea acestui tip de feedback este caracteristic, de exemplu, sistemelor de apărare antiaeriană, la care tragerile se execută asupra poziției viitoare a țintei.

Feedbackul informativ se caracterizează prin faptul că procesul de autoreglare în diferite sisteme se realizează în funcție de gradul de cunoaștere de către acesta a caracteristicilor domeniului comandat. De exemplu, conducerea unui automobil pe un drum cu gheață depinde de cunoașterea de către șofer a lunecșului drumului, adică de cunoașterea caracteristicilor de performanță ale sistemului automobil-drum.

În *feedbackul cu compensare*, echipamentul utilizat pentru compensare are o caracteristică a variației care poate fi determinată din exterior, putând fi adaptat pentru a da stabilitate fiecărui tip de sarcină constantă.

Principiul modelului intern impune ca orice sistem cibernetic să aibă o structură complexă, funcțională în timp și spațiu, cu un nivel de fiabilitate și toleranță la erori stabilit și care să se bazeze pe aplicarea tuturor principiilor ciberneticii. Conform acestui principiu⁷, un regulator cu feedback trebuie să încorporeze un model dinamic al ecosistemului (mediul înconjurător în care acționează sistemul condus) la care regulatorul este proiectat să răspundă. Prin urmare, pentru a conduce trebuie cunoscute atât structura sistemului condus, cât și cea a perturbațiilor ce acționează asupra acestuia. Pentru sistemele complexe și mai ales pentru sistemele sociale, care sunt mai complexe decât

cele tehnice, actul conducerii are loc în condiții de cunoaștere imperfectă, întrucât nu se cunoaște niciodată totul despre sistemul condus și despre mediu.

Funcția de toleranță asigură adoptarea unor strategii care permit controlul variației erorilor și acceptarea fluctuațiilor calității sistemului când acestea nu depășesc limitele convenite, precum și restabilirea calității sistemului prin utilizarea unor elemente și resurse redundante.

Principiul compatibilității (acordului) informaționale determină structura unui sistem, compartimentarea și schimburile de informații calitative și cantitative dintre toate subsistemele acestuia, organizarea și conținutul programelor de funcționare.

Existența unor raporturi dezechilibrate dintre vitezele de lucru ale subsistemelor (părților componente) dintr-un sistem (de exemplu, informatic) impune adoptarea unor structuri și programe de lucru optime care să asigure valorificarea integrală a tuturor resurselor sistemului, la toate nivelurile ierarhice ale acestuia.

Funcționarea armonioasă a componentelor (elementelor) incompatibile ale sistemului, din punct de vedere al vitezei de răspuns sau a altui parametru, impune adoptarea unei scheme de structură ierarhizată pentru acesta care să asigure ordonarea, sintetizarea și fluidizarea fluxurilor informaționale, în principal, a celor de la nivelurile ierarhice inferioare către nivelurile ierarhice superioare.

În literatura de specialitate⁸ se prezintă și un alt principiu, *al incompatibilității*, formulat de către L.A. Zadeh, potrivit căruia pe măsură ce complexitatea unui sistem cibernetic oarecare crește, abilitatea de a face afirmații precise și semnificative despre comportarea sa scade până când atinge un prag sub care precizia și semnificația devin caracteristici ale acestuia ce se exclud reciproc. Cu alte cuvinte⁹, dacă se consideră principiul reglării prin feedback, principiul modelului intern și principiul incompatibilității, rezultă că pentru analiza sau sinteza sistemelor sociale aplicarea metodelor clasice nu poate fi satisfăcătoare.

Principiul predicției este legat de comanda funcționării corecte, viitoare, a unui sistem (aparat), pe baza evaluării comportării anterioare (trecute) a acestuia. Efectul predictiv are evident un caracter probabilistic¹⁰ atât timp cât intrarea nu este

deterministă și este aplicabil în structurile închise pentru reducerea influenței perturbațiilor la un sistem, în sensul obținerii unei dependențe dorite între intrare și ieșire.

La elaborarea teoriei predicției și construirea unui dispozitiv care să materializeze această teorie au adus o contribuție importantă¹¹ N. Wiener și J. H. Bigelow.

Principiile predicției și cel al conexiunii inverse (feedback) formează, împreună, baza teoretică a științei comenzi și controlului. La acestea se mai adaugă *principiul compensației* care permite controlul, prevenirea sau reducerea efectelor negative ale unor factori perturbatori asupra funcționării unor echipamente și dispozitive, în principal, electronice sau de automatizare.

În situații de criză, lipsa de informații certe trebuie să poată fi compensată prin prelucrarea statistică a informațiilor din bazele de date referitoare la situații similare și interpretarea corespunzătoare a rezultatelor obținute ținând, bineînțeles, seama de condițiile concrete ale acțiunii studiate.

În literatura de specialitate¹² sunt descrise câteva tipuri de sisteme de natură cibernetică, dintre care se pot menționa: sistemele instruibile, automatele aleatoare și sistemele cu strategii.

Sistemele instruibile sunt sisteme ciberneticе, deci sisteme cu conexiune inversă care, puse în anumite condiții, învață să dea răspunsul sau răspunsurile potrivite. Punctul de plecare îl constituie examinarea și desprinderea caracteristicilor esențiale ale procesului de învățare care are loc cu organisme vii și experimenterii conștienți, iar pe baza acestei analize se proiectează și se construiesc automate capabile să reproducă acest proces.

Automatele aleatoare constituie o altă clasă de sisteme ciberneticе. Ele sunt considerate ca un capitol aparte al algebrei abstracte, care a cunoscut o dezvoltare foarte mare. Din punct de vedere al algebrei abstracte, un automat, în forma sa generală, este un obiect matematic format din trei mulțimi abstracte nevide A , X , Y și două funcții: $\eta : A \times X \rightarrow A$, $\mu : A \times X \rightarrow Y$.

A este mulțimea stărilor automatului, X este mulțimea semnalelor de intrare, iar Y este mulțimea semnalelor de ieșire. Funcția η este funcția de tranziție a automatului, iar μ este funcția de ieșire a aceluiași automat. În ceea ce privește funcția de ieșire μ a automatului, aceasta asigură corespondența fiecărei perechi formate dintr-o stare

a automatului și un semnal de intrare, cu semnalul de ieșire la momentul următor. Un automat astfel definit se numește automat strict determinist.

În cazul unui automat aleator, evaluat ca sistem cibernetic, cele două funcții η și μ sunt înlocuite printr-un proces aleator în care, la fiecare moment t , pentru orice pereche $(a, x) \in A \times X$, corespunde, cu o probabilitate determinată, o aplicație din mulțimea η și o aplicație din mulțimea μ . Perturbația, având o natură complexă și un caracter întâmplător, poate fi descrisă numai din punct de vedere statistic.

Sistemele cu strategii formează, în general, obiectul teoriei jocurilor, însă caracteristica lor principală este tocmai conexiunea inversă, din care cauză ele ocupă un loc important între sistemele ciberneticе. Deși teoria jocurilor este considerată o ramură a ciberneticii, totuși între ea și o altă ramură a aceleiași discipline, și anume teoria informației, nu există nicio legătură.

În practică, de mare interes este principiul conexiunii inverse (feedback) care, împreună cu cele privind ierarhizarea conducerii, predicției și compatibilității informaționale, constituie suportul științific principal al multor sisteme autonome, utilizate în diferite domenii de activitate, cu precădere în cel *militar*. Experiența conflictelor militare contemporane, în care s-au folosit armele de luptă moderne bazate pe cibernetică, a confirmat pe deplin importanța și conținutul științific universal al acesteia, materializate și în importantele avantaje militare obținute în acțiunile de luptă.

Conceptele analizate de cibernetică privesc învățarea, cunoașterea, adaptarea, controlul social, integralitatea, comunicarea, eficiența, eficacitatea și interconectivitatea, dar se regăsesc și în științele tehnice și biologice.

NOTE:

1 Silviu Guiașu, *Aplicații ale teoriei informației*, Editura Academiei Române, București, 1968, pp. 167-168.

2 S. Călin, C. Belea, *Sisteme automate complexe*, Editura Tehnică, București, 1973, pp. 506-507, 515.

3 D. Ionescu, L. Nisipeanu, E. Stoica, *Baze matematice pentru calculatoare numerice*, Editura Tehnică, București, 1978, p. 14.

4 S. Călin, C. Belea, *Sisteme automate complexe*, Editura Tehnică, București, 1973, pp. 524-525.

5 *CAISR* constituie abrevierea, în limba engleză, a expresiei: Command and Control, Communication, Computer, Information, Surveillance and Reconnaissance System.

6 N. Wiener, *Cibernetica sau știința comenzi și comunicării la ființe și mașini*, Editura Științifică, București, 1966, pp. 155-157.



7 Constantin Virgil Negoită, *Abordarea sistemică prin mulțimi vagi*, în volumul „Studiul sistemelor în știința conducerii”, Editura Academiei Române, București, 1979, p. 47.

8 L.A. Zadeh, *Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes*, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, vol. SMC-3, pp. 28-44.

9 Constantin Virgil Negoită, *Abordarea sistemică prin mulțimi vagi*, în volumul „Studiul sistemelor în știința conducerii”, Editura Academiei Române, București, 1979.

10 C. Penescu, *Sisteme – concepte, caracterizări, sisteme liniare*, Editura Tehnică, București, 1975, p. 121.

11 N. Wiener, *Cibernetica sau știința comenzii și comunicării la ființe și mașini*, Editura Științifică, București, 1966, pp. 15, 27, 31.

12 Silviu Guiașu *Aplicații ale teoriei informației*, Editura Academiei Române, București, 1968, pp. 233-235; 274-276; 287.

BIBLIOGRAFIE

Bryant Bill, *Nature and culture in the Age of Cybernetic Systems*, University of Iowa, Internet, 2008.

Călin S., Belea C., *Sisteme automate complexe*, Editura Tehnică, București, 1973.

Guiașu Silviu, *Aplicații ale teoriei informației*, Editura Academiei Române, București, 1968.

Ionescu D., Nisipeanu L., Stoica E., *Baze matematice pentru calculatoare numerice*, Editura Tehnică, București, 1978.

Negoită Constantin Virgil, *Abordarea sistemică prin mulțimi vagi*, în volumul „Studiul sistemelor în știința conducerii”, Editura Academiei Române, București, 1979.

Nikolov I. *Cibernetica și economia*, Editura Politică, București, 1973.

Penescu C., *Sisteme – concepte, caracterizări, sisteme liniare*, Editura Tehnică, București, 1975.

Wiener Norbert, *Cibernetica sau știința comenzii și comunicării la ființe și mașini*, Editura Științifică, București, 1966.

Zadeh L. A., *Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes*, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 1973, vol. SMC.