

Niektoré aspekty kybernetických systémov*

ŠTEFAN PETRÁŠ

Článok pojednáva o niektorých problémoch definície kybernetických systémov. Ako príklad takejto definície sú uvedené evolučné a všeobecné populačné systémy.

Vo vedných odboroch a disciplínach je ťažko presne exaktne definovať, čo ten ktorý odbor vlastne je. Podobne je to aj s kybernetikou. Presný názor na definíciu kybernetiky nemáme. Osobne si myslím, že to nie je príliš veľká chyba. Zhruba se však zhodneme na tom, že pod *pojmom* „kybernetika“ budeme rozumieť *vedeckú disciplínu — odbor, ktorý sa zaoberá so všeobecnými zákonitostami syntézy a analýzy systémov z hľadiska výmeny informácií*. Zúžene povedené, zaoberá sa informačnými procesmi v sústavách. Skúma tedy vznik, prenos, transformáciu a využitie informácií v rozličných sústavách bez zreteľa na fyzikálnu podstatu skúmaného objektu; teda zaoberá sa abstraktnými všeobecnými zákonitostami. Metodicky kybernetika je exaktnou vedou. V aplikácii všeobecných zákonitostí je však vedou konkrétnou.

Podobne ako ostatné vedy, tak aj kybernetika pracuje s *pojmi*. V kybernetike sa stretávame jednak s pojmami, ktoré sa používajú v iných vedných odboroch, jednak s pojmami, ktoré sú charakteristické pre kybernetiku. Sú to napr.: riadená sústava, štruktúra sústavy, informácia, algoritmus, automat, model, proces regulácie, riadenia, učenia, evolúcie a pod. Tieto pojmy treba definovať, vymedziť im príslušný obsah. Niekedy počujeme námietky proti tomu, že v podstate celý problém kybernetiky se redukuje na problém matematiky. Je pravda, že kybernetika používa matematický aparát, akým je napr. matematická logika, teória, pravdepodobnosti, matematická štatistika, teória množín, topológia, abstraktná algebra a pod., a predsa kybernetika nie je matematika — kybernetika používa svoje vlastné metódy.

Bolo by užitočné, keby sme boli schopní podrobne urobiť analýzu vývoja kyber-

* Článok odznel ako hlavný referát na III. konferencii o kybernetike v dňoch 23. — 25. 4. 1969 v Bratislave.

2 netiky za posledné 3 roky, a to ako v oblasti teoretickej, t. j. aj aplikovanej kybernetiky. Nemáme dosiaľ vybudované centrum vedeckých informácií pre kybernetiku, ktoré by nám urobilo podrobnú analýzu vývojových tendencií v oblasti teoretickej a aplikovanej kybernetiky. Ročne je anotovaných približne 3 700 vedeckých článkov z oblasti teoretickej kybernetiky a 5 700 vedeckých článkov z aplikovanej kybernetiky. Uvediem zaujímavú informáciu od r. 1948 do konca roku 1975. Celkovo bolo vôbec usporiadaných 81 medzinárodných vedeckých podujatí ako kongresov, konferencií, sympózií a iných zasadnutí v odbore teoretickej a aplikovanej kybernetiky. Z toho bolo 5 medzinárodných kongresov o kybernetike v Namure v Belgii. Posledný bol v roku 1967. Budúci bude v r. 1970.

Je len pochopiteľné, že nemožno urobiť analýzu vývoja kybernetiky týmto spôsobom. Nemáme nejaký systematický prehľad o výskume v ČSSR, ani na Slovensku, z odboru kybernetiky. Iste by bolo zaujímavé urobiť z času na čas bilanciu, koľko ľudí vlastne už pracuje v odbore teoretickej a aplikovanej kybernetiky. Domnievam sa, že predmetom úvah Valného zhromaždenia Československej a Slovenskej kybernetickej spoločnosti by mali byť aj tieto problémy. Ako každá disciplína, tak aj kybernetika je vo vývoji, zahŕňa v sebe teda 2 podoblasti, a to:

1. teoretickú kybernetiku a
2. aplikovanú kybernetiku.

Teoretická kybernetika v podstate sa zaoberá teóriou systémov, teóriou algoritmov, teóriou automatov, teóriou informácií, teóriou, kódovania, teóriou rozhodovania, teóriou programovania, teóriou modelovania, teóriou jazykov a ešte mnohými inými teoretickými problémami.

Aplikovaná kybernetika sa zaoberá aplikáciou všeobecných zákonitostí na konkrétne technické, či iné systémy s vyhranenou fyzikálnou, či inou podstatou. Zahŕňa v sebe technickú kybernetiku, ekonomickú kybernetiku, biokybernetiku, psycho-kybernetiku a semiotiku.

Základným pojmom v kybernetike je pojem „systém, či sústava“. Vo všeobecnosti pod pojmom „abstraktný systém“ z hľadiska lingvistického rozumieme množinu pravdivých výrokov:

Uvažujeme nejaký jazyk L , na ňom nech je výrok f . Majme teraz množinu výrokov $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ na jazyku L , potom podmnožina správnych výrokov $M \subset F$ je abstraktný systém.

Iná definícia môže byť takáto:

Abstraktný systém budeme nazývať vzťah R na niektorom súčine

$$x = x_1 * x_2 * \dots * x_n$$

kde

$$R = \{R_1, \dots, R_j\}.$$

Pod pojmom $R = \{T, \xi\}$, kde T je štruktúra, ξ je množina vzťahových zložiek, resp. parametrov, x je množina základných prvkov.

Niektorí autori zvlášť uvádzajú, že k úplnému opisu je treba zaviesť pojem „chovanie sa sústavy“, ktorá sa definuje ako orientovaný abstraktný systém so vstupom x a výstupom y . Chovanie sa potom definuje ako transformácia vektora x do vektora y vzťahom

$$(1) \quad y = L(x),$$

kde L je operátor transformácie.

Ak teda pod pojmom „abstraktný systém“ budeme rozumieť nielen jeho štruktúru, jeho parametre, ale aj operátor, potom pod pojmom „abstraktný systém“ rozumieme trojicu podmnožín $\{T\}$, $\{\xi\}$, $\{L\}$, teda

$$(2) \quad S_A = \{T, \xi, L\},$$

resp. ak sa nám jedná o systémy premenlivé s časom $t_A = t$, potom dynamický abstraktný systém bude definovaný

$$(3) \quad S_A(t_A) = \{T(t_A), \xi(t_A), L(t_A)\}.$$

Dá sa dokázať, že takto definovaný abstraktný dynamický systém nevyhovuje úplne požiadavkám a potrebám kybernetiky. Musia prísť ešte dve skutočnosti:

1. Zaviesť do definície abstraktného kybernetického systému množstvo informácie $I_K(t_\beta)$, ktoré systém mal v čase $t = 0$ pred transformáciou informácií a po transformácii informácií, a

2. pravdepodobnostnú mieru $p[x_K(t_{K\beta}), y_K(t_{K\beta})]$ pre operátor transformácie L .

Môžeme teda všeobecne definovať kybernetický systém takto: Pod pojmom „kybernetický systém“ budeme rozumieť štvoricu podmnožín $\{T_K(t_{K\beta})\}$, $\{\xi_K(t_{K\beta})\}$, $\{L_K(t_{K\beta})\}$, $\{I_K(t_{K\beta})\}$ množiny $S_K \subset S$, teda

$$(4) \quad S_K(t_{K\beta}) = \{T_K(t_{K\beta}), \xi_K(t_{K\beta}), L_K(t_{K\beta}), I_K(t_{K\beta})\},$$

kde

$T_K(t_{K\beta})$ je podmnožina štruktúr kybernetického systému v čase $t_{K\beta}$,

$\xi_K(t_{K\beta})$ je podmnožina funkčných závislostí, resp. parametrov kybernetického systému v čase $t_{K\beta}$,

$I_K(t_{K\beta})$ je množstvo informácií kybernetického systému v určitom čase $t_{K\beta}$,

$L_K(t_{K\beta})$ je operátor transformácie vstupného vektora $x_K(t_{K\beta})$ do výstupného vektora y v čase $t_{K\beta}$

$$y_K(t_{K\beta}) = L_K(t_{K\beta}) \{x_K(t_{K\beta})\}$$

s pravdepodobnosťou

$$p[x(t_{K\beta}), y(t_{K\beta})].$$

4 Takto definovaný kybernetický systém vyhovuje požiadavkám kybernetiky, lebo zahrňuje v sebe

- a) systémy deterministické a náhodné,
- b) systémy neorientované aj orientované,
- c) systémy ľubovoľnej fyzikálnej podstaty,*
- d) systémy otvorené a čiastočne uzavreté,
- e) systémy cieľavedomého chovania, akým sú napr. regulované, riadené, učiace a evolučné systémy a pod.

Takto definované kybernetické systémy majú však aj veľkú nevýhodu. Spravidla podmnožiny $\{T\}$, $\{\xi\}$ a $\{I\}$ môžu byť nekonečné, spravidla dané induktívne (tj. všeobecne je dané zo zvláštneho), preto sa definujú kybernetické systémy nepriamo, najmä pomocou rozličných špecifických metód kybernetiky, ako sú: čierna skrinka, kybernetické modelovania a pod.

Vraťme sa však ešte k niektorým zvláštnostiam kybernetických systémov a pokúsme sa definovať evolučné kybernetické systémy. Všeobecne je známe, že reálny kybernetický systém je čiastočne alebo úplne otvoreným systémom. Pôsobia naň rozličné vonkajšie vplyvy. Nech tieto vonkajšie vplyvy sú takého charakteru, že sú schopné zmeniť kybernetický systém S_{Ka} na kybernetický systém S_{Kb} . Úmyselne nateraz nedefinujeme kvalitu tejto zmeny. Nech vonkajšie podnety opäť zmenia kybernetický systém S_{Kb} na S_{Kc} , atď. Vznikne teda postupnosť nových kybernetických systémov $S_{Ka}, S_{Kb}, S_{Kc}, \dots$. Táto postupnosť môže byť konečná, resp. nekonečná. Zmena kybernetického systému v iný kybernetický systém nemusí byť jednoznačná, tj. determinovaná. Spravidla býva viacznačná, a to náhodná. Takéto podmienky budeme písať $S_K \neq 1$. Napríklad, ak náš kybernetický systém je schopný evolúcie, potom grafický zápis bude, ako je na obr. 1.

Matematický zápis bude takýto: (napr. pre prvý stav $j = 1$)

$$(5) \quad \begin{aligned} S_{Kb1} &= L_{Kab1} \cdot S_{Ka} \cdot p(S_{Ka}, S_{Kb1}), \\ S_{Kb2} &= L_{Kab2} \cdot S_{Ka} \cdot p(S_{Ka}, S_{Kb2}), \\ S_{Kb3} &= L_{Kab3} \cdot S_{Ka} \cdot p(S_{Ka}, S_{Kb3}), \\ \sum_{i=1}^3 p(S_{Ka}, S_{Kbi}) &= 1. \end{aligned}$$

Vidíme, že evolučné systémy môžeme opísať v tvare „stromu“. V príklade $S_{Ke12}, S_{Ke2j}, S_{Kej1}$ atď. sú *konečné kybernetické systémy*, ktoré nie sú evolúcie schopné. Samozrejme, že z hľadiska praktického budú nás zaujímať len tie kybernetické systémy, ktoré vyhovujú určitým kvalitatívnym, resp. kvantitatívnym kritériám,

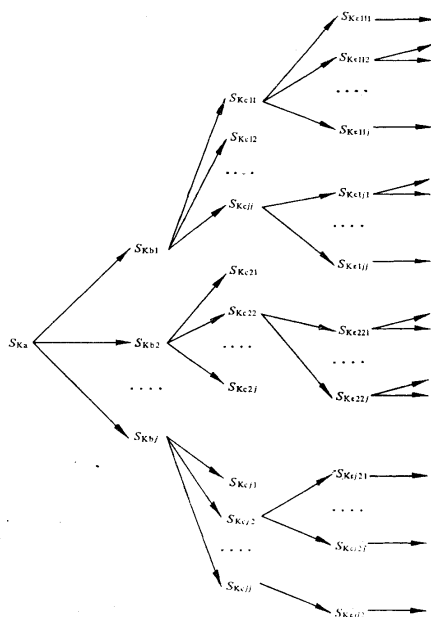
* Ide o makroskopické javy v systémoch.

napr. zaujíma nás len nejaká vetva „strom“, napr.

$$S_{Ka} \rightarrow S_{Kbj} \rightarrow S_{Kcj2} \rightarrow S_{Kej21} \rightarrow \dots$$

V prípade, že evolúcia je deterministická, potom namiesto „strom“ dostaneme jednoznačnú vetvu napr. takto:

$$S_{Ka} \rightarrow S_{Kb} \rightarrow S_{Kc} \rightarrow S_{Ke} \dots$$



Obr. 1.

Z hľadiska úplnosti evolúcie je dôležitý pojem *totalnej evolúcie*, tj. ak sa v kybernetickom systéme menia všetky podmnožiny systému, tj. $\{T(t_a)\}$ jej štruktúra, $\{\xi(t_a)\}$ parametre štruktúry, $\{I(t_a)\}$ množstvo informácie, $\{L(t_a)\}$ operátor transformácie. V praxi sa však veľmi zriedka vyskytuje totalná evolúcia. Za najdôležitejší prípad považujeme taký, keď evolúcia je určená operátorom $L(t_a)$. Niektoré prípady z biochémie sú už známe, napr. tzv. modely rastu – či vývoja fermentačných reakcií

6 Ahren-Iuce, kde operátor transformácie je daný takouto diferenciálnou rovnicou

$$(6) \quad \frac{dn}{dt} = K n(1 - n) - \lambda n,$$

kde n je koncentrácia,

t je čas,

K je koeficient zahusťovania koncentrácie,

λ je koeficient rozriedovania koncentrácie.

Obidva koeficienty závisia na absolútnej teplote T , Bolzmanovej konštante k , množstve aktivačnej energie E_1 , resp. E_2 podľa vzťahu

$$(7) \quad K = K_0 \exp\left(-\frac{E_1}{K_T}\right),$$

$$\lambda = \lambda_0 \exp\left(-\frac{E_2}{K_T}\right).$$

Pre ustálený stav, tj. pre $dn/dt = 0$ bude

$$(8) \quad n_\infty = 1 - \frac{\lambda_0}{K_0} e^{E_1 - E_2/K_T},$$

resp. približne

$$(9) \quad n_\infty \doteq 1 - \frac{\lambda_0}{K_0} \left(1 + \frac{\Delta E}{K_T}\right),$$

kde K_0, λ_0 sú príslušné počiatočné podmienky koncentrácie.

Tento príklad je ukázkou deterministickej evolúcie za istých predpokladov.

Iný prípad evolučných kybernetických systémov je všeobecný matematický model evolúcie a degenerácie, resp. úmrtia v biologických procesoch.

Uvediem jeden z takýchto možných modelov. Nech $P_n(t)$ je pravdepodobnosť, že nejaký evolučný proces $x(t) = n$. U všetkých evolučných procesov rozloženie pravdepodobností $\{P_n(t)\}$ je zrejme časová funkcia, okrem toho evolúcia bude závisieť na minulosti, na histórii.

Po krátkych úvahách môžeme odvodiť takúto diferenciálnu rovnicu

$$(10) \quad \frac{dP_n(t)}{dt} = -(\lambda_n + \mu_n) P_n(t) + \lambda_{n-1} P_{n-1}(t) + \mu_1 P_{n+1}(t)$$

pre $n \geq 1$ a pre $n = 0$

$$(11) \quad \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda_0 P_0(t) + \mu_1 P_{n+1}(t),$$

kde λ_n koeficient rastu – rozmnožovania,
 μ_n koeficient úmrtia – úbytku populácie,
 λ_0, μ_1 sú počiatkové podmienky.

Treba poznamenať, že môžu v podstate nastať tieto štyri prípady:

1. ak evolučná sústava je v stave napr. E_n v čase t a v čase $t + h$ opäť bude v stave E_n ;
2. ak sústava je v čase t v stave E_n a v čase $t + h$ bude v stave E_{n-1} ;
3. ak sústava je v čase t v stave E_n a v čase $t + h$ bude v stave E_{n+1} ;
4. ak sústava v čase t je v stave E_n , môže sa v čase $t + h$ dostať buď do stavu E_{n+1} , resp. E_{n-1} .

Všeobecne je možné, aby sústava, ktorá je v čase t v stave E_n mohla prejsť v čase t_{n+1} do jedného ľubovoľného možného stavu a pritom tento proces môže byť nehomogenný, namiesto $P_n(t)$ budeme písať $P_{in}(\tau, t)$; to znamená, že $P_{in}(\tau, t)$ bude podmienená pravdepodobnosť, že sústava v čase t je v stave E_n pri podmienke, že v predchádzajúcom čase τ bola v stave E_i , ak $\tau < t$ nemá význam takýto proces. Ak proces je homogenný, potom podmienená pravdepodobnosť závisí len na rozdieli $\tau - t$. V takomto prípade môžeme evolučné procesy opísať inverznými diferenciálnymi rovnicami Kolmogorova

$$(12) \quad \frac{\partial P_{ik}(\tau, t)}{\partial \tau} = C_i(\tau) P_{ik}(\tau, t) - C_i(\tau) \sum_j P_{ij}(\tau) P_{jk}(\tau, t).$$

Podrobná úvaha o jej riešení a význame je uvedená v literatúre a preto ju nebudem interpretovať. Chcel by som sa zmieniť, kedy z takejto pasívnej evolučnej sústavy stáva sa kybernetický systém. Podľa našej definície vtedy, keď evolúcia bude cieľavedomá, keď bude prebiehať podľa nejakého zákona a pritom jasne množstvo informácií bude stúpať, resp. entropia bude klesať. Z praktického hľadiska jasne vyplýva, že v danom prípade pôjde o procesy riadené buď vonkajším prostredím, alebo auto-riadením seba samým.

Iný príklad z teórie kybernetických systémov je obdobný prípad všeobecných populačných systémov.

To znamená, že musí byť daný vzťah medzi $L(t_a)$ a $I(t_a)$. Spravidla $L(t_a) = F[I(t_a)]$.

Problém je potom nájsť také riešenie (napr. diferenciálnej rovnice), ktoré vyhovuje vzťahu $F[I(t_a)]$.

Iný príklad je z teórie všeobecnej populácie. Matematický model všeobecnej populácie je charakterizovaný vzájomným vzťahom rôznych populačných jedincov – organizmov a vonkajšieho prostredia v danom čase.

Predpokladáme, že takýto jedinec pozostáva z s populácií A_1, A_2, \dots, A_s , ktoré budeme nazývať „konzumačnými“ populáciami a p populácií $A_{s+1}, A_{s+2}, \dots, A_{s+p}$, ktoré budeme nazývať riadenými. Vzťah populácie v biocenóze sa opisuje sústavou

8 diferenciálnych rovníc

$$(13) \quad \begin{aligned} y_i &= f_i(y_1, \dots, y_{s+p}, u_{s+1}, \dots, u_{s+p}, t), \\ y_i(0) &= y_i^0, \quad i = 1, 2, \dots, s+p, \end{aligned}$$

kde y_i je množstvo jedincovej biohmoty i -tej populácie,
 t je čas,
 u_{s+i} je veličina, ktorá charakterizuje zmenu biohmoty i -tej populácie riadením.

Označme

α_{s+i} náklady na jednotkové riadenie i -tej populácie,
 λ_i hodnotu jednotkovej biohmoty i -tej konzumačnej populácie.

Riadený proces biocenózy sa bude uskutečňovať zmenou biohmoty riadených populácií.

Úlohou riadenia biocenózy je určenie takej stratégie

$$\{x_i^k\}, \quad i = 1, \dots, s, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

pre konzumačné populácie a určenie riadenia pre riadené populácie, ktoré zaručuje maximum funkcionálu

$$(14) \quad F[I(t_a)] = \lim_{K \rightarrow 0} \frac{\sum_{k=0}^T \left(\sum_{i=1}^s \lambda_i x_i^{k+1} - \sum_{j=s+1}^{s+p} \alpha_j u_j^k \right) \omega_K}{T},$$

kde

$$\begin{aligned} 0 &\leq u_j^k \leq c_j^k, \quad j = s+1, \dots, s+p, \\ 0 - x_i^k &\leq y_i^k, \end{aligned}$$

c_j^k je daná konštanta v čase k , $\omega_K \leq 1$ je číslo.

Celý proces riadenia je nasledovný. V čase $t = 0$ určíme riadenie $\{o_j^0\}$, $j = s+1, \dots, s+p$ tak, aby riešenie diferenciálnej rovnice vyhovovalo funkcionálu F pri daných obmedzeniach. Ak sa nám to podarí, naša stratégia bude optimálna.

Vidíme, že v podstate nie je ani tak problém definovať kybernetický systém, ako je problém nájsť jeho matematický model, určiť jeho cielavedomé chovanie v danom prostredí. Obzvlášť si musíme dobre uvedomiť, že kybernetické systémy vynikajú jednou zvláštnosťou na rozdiel od obyčajných systémov. Sú väčšinou rozsiahle systémy, s veľmi zložitou a rozsiahlou štruktúrou a veľmi komplikovanou operátorovou závislosťou na vonkajšom prostredí.

Z týchto vlastností vyplýva aj metodika kybernetiky, ako aj problémy výskumu kybernetických systémov, ich analýzy a syntézy.

(Došlo dňa 2. júna 1969.)

Certain Aspects of Cybernetical Systems

ŠTEFAN PETRÁŠ

The article was given as the main paper at the 3rd Conference on Cybernetics in Bratislava April 23–25, 1969. It tackles certain problems concerning the definition of cybernetical systems. Such definition is exemplified by systems of evolution and general population.

Doc. Ing. Štefan Petráš CSc., Ústav technickej kybernetiky SAV, Bratislava, Dúbravská cesta.