

Úvahy a zamyslenia na tému kybernetika a teória riadenia (4)

V predkladanej sérii článkov o histórii, vývoji a súčasnom stave kybernetiky, teórii riadenia a príbuzných disciplínach, ako aj o niektorých metodologických problémoch s tým spojenými budú postupne uvedené tieto články: Paradigmy teórie automatického riadenia, Existuje vôbec teória automatického riadenia?, Kybernetika a teória riadenia: minulosť a budúcnosť, a Idea univerzity 21. storočia – zjednotenie vedy a vzdelávania. Cieľom týchto článkov, ktorých obsah od jedného autora môže byť len subjektívny, je pokúsiť sa vidieť niektoré problémy z nadhľadu a vyvolať prípadnú diskusiu.

Idea univerzity 21. storočia – zjednotenie vedy a vzdelávania

1. Idea univerzity

V roku 1854 napísal kardinál John Henry Newman knihu *The Idea of University*. V tom čase už univerzity mali v spoločnosti značný vplyv a vychovávali Británii spoločenskú elitu na vládnutie v britskom impériu. Podľa Newmana univerzita utvára charakter tých, ktorí ju navštevujú. Tým, že sa študenti ocitnú v akademickom prostredí, kde sa im vštepuje ideál vzdelanosti, menia sa z hrubých, nekultivovaných ľudských bytostí na gentlemanov. A práve v tom, hovorí Newman, spočíva pravá sociálna funkcia univerzity. Uprostred ich stien sa dospievajúcim predkladá vízia životných cieľov; a tí si z univerzity odnášajú jednu dôležitú vec, ktorú im okolitý svet nemôže poskytnúť: predstavu o skutočných hodnotách.

Dnešná univerzita sa od univerzity kardinála Newmana líši temer vo všetkých ohľadoch. Študenti pochádzajú zo všetkých spoločenských vrstiev a tried, je otvorená mužom i ženám a veľmi často je financovaná a zabezpečovaná štátom. Osnovy sú vyplnené vedeckými disciplínami, predmetmi užitočnými pre kariéru a dnes všadeprítomnými „obchodnými štúdiami“, ktorých osvojením sa študenti údajne naučia porozumieť svetu. Univerzity sa navyše stále rozrastali, aby mohli ponúknuť svoje služby stále rastúcej časti populácie a pohlňovať stále sa zväčšujúcu časť štátneho rozpočtu. Vyššie vzdelanie sa poskytuje každému, kto zloží bakalársku skúšku, a európski politici sa často vyjadrujú v tom zmysle, že reforma vzdelávacieho systému bude definitívne zavŕšená až v okamihu, keď bude každé dieťa môcť absolvovať vysokú školu. Univerzita už neslúži na výchovu spoločenských elít, ba práve naopak – snaží sa nás uistiť, že elity sú vecou minulosti.

2. Zjednotenie vedy a vzdelávania

Sme svedkami nových snáh o novú renesanciu vedy a vzdelávania, ktoré sú vyvolané prevratnými výsledkami od pochopenia štruktúry hmoty až po zložité systémy vrátane ľudského mozgu. Nový pohľad na vedu ako jednotný organizmus je odrazom jednoty prírody a vedie ku konvergencii rôznych oblastí; v súčasnosti dominujú najmä tieto štyri: nanotechnológie, biotechnológie, informačné technológie a kognitívne vedy. Dnes často používaný zvrat – konvergujúce technológie (KT) – odráža synergetický efekt štvorkombinácie NBIC, skratky, ktorá je dnes zároveň značkou nových prístupov a označuje už uvedené oblasti, skrátene, nano-bio-info-cogno: nanoveda a nanotechnológia; biotechnológia a biomedicína vrátane genetického inžinierstva; informačné technológie zahrňujúce zložité výpočty a komunikačné technológie; kognitívne vedy zahrňujúce kognitívnu neurovedu.

Dosiahnuť zmeny si vyžiada radikálne zmeny a nové prístupy:

a) Univerzity, ale aj iné inštitúcie a organizácie musia byť pripravené na zmeny, ktoré prinesú KT.

- b) Výchova a vzdelávanie musia používať KT na všetkých úrovniach a pripravovať ľudí využívať ich. Pre novú generáciu vedcov a inžinierov musia byť pripravené nové interdisciplinárne vzdelávacie programy, ktoré im umožnia najmä kooperáciu so špecialistami v rôznych špecifických oblastiach. Musia byť vytvorené nové interdisciplinárne programy, avšak nie s pevnou, ale s pružnou štruktúrou. Musia vzniknúť siete výskumných centier, ktoré sa budú riešiť megaprojekty typu súčasného rozlúštenia ľudského genómu.
- c) Budúce komunity NBIC musia mať k dispozícii multipoužívateľskú infraštruktúru údajov, archívov, využívajúc nové informačné a komunikačné technológie (napr. GRID) vrátane štátnych agentúr, priemyslu a univerzitných laboratórií.
- d) Základom komunikácie, aj širšej komunity NBIC, na dosiahnutie bezprecedentných cieľov vo vede a technike musí byť spoločný odborný jazyk; ten musí byť na báze formálnych prostriedkov (matematiky) zložitých (komplexných) systémov, na báze modernej informatiky, kybernetiky a umelej inteligencie.
- e) Ďalší rozvoj musí byť aj v súlade s morálnymi, etickými princípmi, musí byť v súlade, napríklad s ochranou životného prostredia, čo vyžaduje ďalší rozmer vo výchove a vzdelávaní už od základných škôl. Vedci a inžinieri si musia byť vďačnejšie väčšej miere ako doteraz vedomí sociálno-etických implikácií svojej činnosti.

Pokrok v oblastiach NBIC je za krátke obdobie značný. Napriek tomu nemožno očakávať jeho ďalšie zrýchlenie automaticky. Ako konkrétny príklad možno uviesť zobrazovanie mozgu na báze magnetickej rezonancie. V súčasnosti sme schopní zobrazovať štruktúru okolo jedného kubického milimetra. V tomto objeme sa však skrýva 1 000 000 neurónov. Na zviditeľnenie menších štruktúr, bližšie k úrovni buniek, treba vyvinúť nové metódy, nové počítačové štruktúry a algoritmy alebo vytvoriť úplne nové prístupy k štúdiu týchto štruktúr, založené na NBIC.

Pokrok v informačných technológiách (IT) závisí najmä od rozvoja integrovaných obvodov. Súčasná metóda sa už blíži k fyzikálnym limitom. Nádeje na najbližších dvadsať rokov sa vkladajú do nanotechnológií. Dôležitým aspektom je aj podstatné skvalitnenie softvéru. Veľké nádeje sa vkladajú do biocomputingu a kognitívnych vied spojených s pochopením činnosti mozgu. Bez pokroku, asi podstatného, v IT nemôžeme očakávať podstatné pokroky v biotechnológiách, napríklad v dekódovaní ľudského genómu, modelovaní dynamických štruktúr proteínových molekúl a pod. Cieľom je, nič viac a nič menej ako zásadná transformácia vedy a techniky. Zdá sa, že prvotným cieľom je pochopenie zložitosti – komplexity. Kompemantaritu oblastí NBIC dobre vystihuje slogan: Čo kognitívni vedci vymyslia, to nanovedci postavia, biovedci to implementujú a IT vedci to monitorujú a riadia.

Súčasná vedecká a inžinierska vzdelávanie je veľmi fragmentované, dané hranicami jednotlivých disciplín. V blízkej budúcnosti

bude získavanie vedomostí založené na jednotných prístupoch vychádzajúc najmä z koncepcie NBIC. Prírodné, technické, sociálne a humanitné vedy budú k sebe konvergovať. Bude posilnená úloha prírodných a technických vied aj v príprave učiteľov. Musí nastať istá reorientácia smerom k matematike, fyzike a informatike.

3. Komplexné systémy

Komplexnosť (zložitosť, komplexita) je dnes jedným z ústredných pojmov súčasnej vedy a ako taká sa hlboko študuje v rôznych oblastiach, ako sú: fyzika, biológia, sociálne systémy ap. Len multidisciplinárny výskum môže priniesť konkrétne výsledky, ktorých syntézou môžeme postupne dospieť k všeobecným princípom a zákonom riadenia komplexnosti.

Štúdium komplexných technických systémov, ich spoľahlivosť spojená s ich zlyhávaním je zdrojom poznatkov a príčin ich neúspechov. Ich príčinou sú práve faktory zložitosti: multisystémová integrácia, obmedzenia, veľký počet funkčných požiadaviek a pod. Dôležité je aj štúdium a analýza už existujúcich komplexov, vyhodnotenie ich činnosti.

Zložité úlohy možno charakterizovať veľkým počtom možností, ktoré musia byť analyzované a posudzované. V obyčajných prípadoch posudzujeme obvykle desiatky možností; profesionáli v určitom odbore sú schopní posúdiť stovky možností a veľké projekty operujú s tisíckami elementov. Najväčšie projekty sú na úrovni stoviek tisíc. Pre takéto prípady treba rozpracovať nové prístupy. Zjednodušovanie, redukcia mnohokrát vedie k chybám.

Rýchly rozvoj nanotechnológie a ich konvergencia s biologickými, informačnými a kognitívnymi vedami vytvára novú oblasť komplexných systémov. Tie vychádzajú na jednej strane z detailných výskumov konkrétnych systémov, na druhej strane zo všeobecných skúmaní opisu a reprezentácií zložitých systémov. Aplikácie v praxi, v biologických, informačných, kognitívnych, sociálnych systémoch, ako aj v inžinierskych disciplínach sú zjavné.

Biológia zhromaždila obrovské množstvo poznatkov a dnes je jasné, že biologické systémy sú zložité, bohato štruktúrované biochemické siete. Úlohu informácie v biologických systémov začínajú študovať matematici, fyzici a inžinieri, ktorí hľadajú v evolučne vytvorenej komplexite vzor funkčnej spoľahlivosti.

Počítače prekonali vývoj od jednoduchých individuálnych systémov k zložitým sieťovým štruktúram. Komplexné systémy majú svoj zdroj v štúdiu konkrétnych systémov. Zovšeobecnené skúsenosti získané analýzou a syntézou konkrétnych výsledkov umožnia lepšie pochopenie činnosti KS, ako aj ich riadenie. Biologické systémy známe svojou komplexitou, ale aj iné KS, možno opísať a riadiť len zložitou. To hovorí aj jeden z najznámejších princípov kybernetických systémov, princíp nevyhnutnej variability alebo princíp adekvátnosti systému a regulátora. Na túto zložitost musia byť vyvinuté teoretické aj počítačové prostriedky, ktoré uvedenú komplexitu zvládnu. Príkladom môže byť projekt odhalenia ľudského genómu.

Hlavnými cieľmi výskumu KS je: porozumieť, ako fungujú a ako kooperovať s KS v rôznych úrovniach (manažérska, inžinierska, ekonomická, sociálna ap.); porozumieť jednotným princípom organizácie a riadenia KS, najmä systémov, v ktorých sa vyskytujú veľké objemy informácií; porozumieť komplikovaným interakciám medzi KS a prostredím.

Špecifickou triedou KS sú komplexné adaptívne systémy. Pojmy chaos, zložitosť, komplexné adaptívne systémy sú dnes synonymami, ktoré charakterizujú dnešnú dialektickú zložitosť sveta ako celku. Zároveň sú výrazom istej módnosti a používanie týchto pojmov často nie je na mieste. V našom prirodzenom, ako aj ume-

lo vytvorenom svete ide o také systémy ako mozog, ekonomika (podniku, štátu, svetadiela), kolónie mravcov či včiel. Ešte zložitejšie sú sociálno-ekonomicko-kultúrne systémy. Tieto systémy môžeme charakterizovať prostredníctvom ich niektorých podstatných vlastností:

- Komplexné adaptívne systémy (KAS) sú siete vytvorené z mnohých podsystémov – agentov, ktoré pôsobia paralelne. Ak uvažujeme napr. o ekonomických systémoch, agenti sú firmy. V politickom systéme sú agentmi politickej strany, prípadne dominantné osobnosti politickej scény. V medzinárodných vzťahoch sú to národy a štáty, prípadne zoskupenia štátov. V zložitom energetickom systéme sú to jednotlivé energetické jednotky. Typické pritom je, že agent pôsobí v neustále premenlivom prostredí, v ktorom je neustále v interakcii s ostatnými agentmi a to vyžaduje jeho neustálu adaptáciu.
- Riadenie KAS je decentralizované a autonómne. Napríklad v mozgu nejstuje žiadny vedúci neurón. Aj v technických systémoch existuje mnoho príkladov autonómnych systémov bez koordinátora. Činnosť systému ako celku je zabezpečovaná kooperáciou alebo konkurenciou medzi agentmi.
- KAS majú obvykle mnohoúrovňovú štruktúru s decentralizáciou na každej úrovni.
- KAS neustále menia svoju štruktúru ako reakciu na vonkajšie prostredie. Pritom princípy adaptácie sú rovnaké na každej úrovni.
- KAS sú schopné robiť predikciu.

Pri koncipovaní učebných plánov pre tretie tisícročie treba položiť niekoľko zásadných otázok:

1. Aké zmeny sú nutné v štandardných modeloch učebných osnov a jednotlivých disciplín na prípravu študentov v bakalárskom, inžinierskom a doktorandskom štúdiu v globálnej informačnej spoločnosti 21. storočia?
2. Ako sa vyrovnáť s faktom, že výskum mnohých dôležitých problémov vyžaduje narušiť rovnováhu súčasnej skladby predmetov, ako aj podstatne zmeniť ich obsah a formy výuky?
3. Ako vytvoriť vhodný pomer medzi predmetmi, ktoré sú obsahom daného smeru príslušnej fakulty, a predmetmi, ktoré pokrývajú viac disciplín?
4. Do akej miery má univerzita aspirujúca na transdisciplinárny prístup zmeniť štruktúru svojich fakúlt a katedier?

Univerzitu môžeme chápať ako komplexný adaptívny systém, ako súhrn vzájomne pôsobiacej komunity, z ktorých každú môžeme považovať za KAS. Podsystémy tvoria (z pohľadu učiteľa): učitelia, administrácia, študenti, zdroje financovania a nástroje pedagogiky (napr. WWW).

4. Komplexný systémový evolučný prístup

Akú úlohu môžu mať uvedené trendy v odboroch, ktoré formálne nazveme control engineering. V súčasnosti je zložitý riadiaci systém zložitá počítačová sieť; navonok je práve táto charakteristika dominantná. Aby sme zjednodušili ďalšie úvahy, budeme predpokladať dve základné úlohy: návrh algoritmov riadenia komplexných systémov (tu má hlavnú úlohu teória automatického riadenia a teória rozhodovacích procesov) a návrh (projektovanie) reálneho riadiaceho systému. V praxi často dochádza k prípadom, keď projekty komplexných systémov neprinesú vyžadovaný efekt, ba často dochádza k ich zastaveniu a nerealizujú sa. Podľa Bar-Yama [2] vôbec nejde o lacnú záležitosť – straty odhaduje ročne na 100 miliárd ročne (napríklad projekt Federal Aviation Administration Advanced Automation System si v rokoch 1982 – 1994 na zlepšenie leteckej prevádzky vyžiadala náklady 3 – 6 miliárd dolárov a bol ukončený bez efektu). Vzniká otázka, kde sú príčiny zlyhávaní projektov a ako zmenšiť straty.

Základným dôvodom týchto ťažkostí pri moderných inžinierskych projektoch je ich inherentná komplexita. Komplexita znamená, že časti systému sú autonómne a zmena v jednom podsysteme má vplyv na iné. Komplexita znamená nepredvídateľné efekty pod vplyvom početných spätných väzieb, ktoré môžu viesť k zlyhaniu systému. Samozrejme, že komplexita nie je úplne nový jav, aj keď stále vyrastá. Manažéri a inžinieri v minulosti vyvinuli celý rad metód a prístupov, napríklad modulárnosť, hierarchickosť ap. Modulárnosť (dekompozícia) síce umožňuje návrh jednoduchších častí, ale výsledný efekt (suma činností podsystemov) pri vzájomnom prepojení sa môže stratiť. Podobný efekt majú také postupy ako abstrakcia, redukcia a pod.

Ako riešiť uvedený problém? Známý je prístup nazvaný proces inkrementálnych zmien. Táto metóda je známa najmä v informatike pri vylepšovaní vlastností existujúceho hardvéru a softvéru. Ide o iteračný proces postupných zmien. Po mnohých zmenách systém nadobudne podobu veľmi odlišnú od originálu. Ďalšie perspektívy v tomto smere vedú k evolučnému chápaniu zmien: ako môžu postupné zmeny spôsobiť rýchlu inováciu. V súčasnosti existujú dve cesty, ako riešiť zlyhania komplexných inžinierskych projektov. Prvá spočíva v zmene cieľov. Druhou je použitie evolučného postupu. Tú musíme použiť v prípade nemožnosti redukcie cieľov: úloha je taká zložitá, že redukcia a zjednodušenie vedú k značnej neurčitosti a platí aj princíp nevyhnutnej variety (inak povedané – princíp adekvátnosti riešenia je cieľom úlohy).

Literatúra

[1] BAR-YAM, Y. (2000): Enlightened Evolutionary Engineering/Implementation of Innovation in FORCEnet, Report to Chief of Naval Operations Strategic Studies Group, 2002

[1] BAR-YAM, Y. (2003): When Systems Engineering Fails – Toward Complex Systems Engineering, 2003 IEEE International Conference on Systems, Man&Cybernetics, October 5 – 8, 2003, Washington, D. C., USA.

[1] SARNOVSKÝ, J. (2002): Kybernetický svet. 2. vydanie. Košice: ELFA.

[1] SARNOVSKÝ, J. a kol. (1999): Multiagentové hybridné riadenie zložitých systémov. Košice: Elfa.

prof. Ing. Ján Sarnovský, CSc.

30

**Technická univerzita
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a umelej inteligencie
Letná 9/B, 042 01 Košice
e-mail: jan.sarnovsky@tuke.sk**