

# **Journal of Cybernetics and Informatics**

published by

**Slovak Society for  
Cybernetics and Informatics**

**Special Issue**

**"New Trends in Education of Automation  
and Information Technology"**

**2004**

TRENDY VO VÝUČBE SPOJITÝCH A DISKRÉTNÝCH SYSTÉMOV RIADENIA  
Hrúz B., Kozák Š, Veselý V., 50-62

<http://www.sski.sk/casopis/index.php> (home page)

ISSN: 1336-4774

## TRENDY VO VÝUČBE SPOJITÝCH A DISKRÉTNÝCH SYSTÉMOV RIADENIA

B. Hruz, Š. Kozák, V. Veselý

Katedra automatizovaných systémov riadenia, FEI STU Bratislava  
[kozak@kasr.elf.stuba.sk](mailto:kozak@kasr.elf.stuba.sk), [hruz@kasr.elf.stuba.sk](mailto:hruz@kasr.elf.stuba.sk), [vesely@kasr.elf.stuba.sk](mailto:vesely@kasr.elf.stuba.sk)

**Abstrakt:** Príspevok sa zaoberá niektorými vybranými problémami spojenými s výučbou metód automatického riadenia spojitéch a diskretných systémov riadenia. Je rozdelený na tri časti. Prvá časť príspevku sa zaoberá novými trendami vo výučbe spojitéch systémov riadenia s využitím interaktívnych princípov v modelovaní, výpočte optimálnych parametrov regulátorov a grafickej prezentácii riešenia použitím Internet/Intranet technológií. Druhá časť príspevku je zameraná na opis metodiky a spôsobov výučby udalostných systémov riadenia. Teoretická a aplikačná časť je zavedená do jedného predmetu vyučovaného v inžinierskom štúdiu s cieľom naučiť študentov spôsoby tvorby udalostných modelov, algoritmov riadenia týchto systémov a metód simulácie s využitím laboratórnych modelov. Tretia časť príspevku sa zaoberá niektorými otvorenými problémami výučby spojenými s formami, spôsobmi výučby a efektívneho využitia ľudského, technického a softvérového potenciálu pre zabezpečenie a dosiahnutie vysokej kvality výučby.

**Kľúčové slová:** metódy automatického riadenia, zložité systémy riadenia, integrácia metód riadenia, informačné technológie v riadení, PID regulátory, prediktívne metódy riadenia, adaptívne a robustné metódy riadenia, neuro-fuzzy riadenie, udalostné systémy, Petriho siete, Grafcet, stavové diagramy, programovateľné logické automaty.

### 1 ÚVOD

Automatické riadenie je dôležité pre rozvoj všetkých oblastí ľudského života. Automatické systémy riadenia v integrácii s informačnými a komunikačnými technológiami predstavujú dnes silný evolučný faktor výrazne ovplyvňujúci priemyselné procesy, bankovníctvo, zdravotníctvo, komunikácie, informačné systémy, výučbové a rozhodovacie procesy. Aplikáciou komplexných automatických systémov s najnovšími je možné dosiahnuť vysokú kvalitu, spoľahlivosť a bezpečnosť prevádzok, prvkov, systémov a zariadení. Uvedené sledované ciele je možné dosiahnuť integráciou nových metód riadenia, numerických metód a algoritmov, informačných technológií, a nových riadiacich systémov s algoritmi, ktoré majú vlastnosti adaptivity, robustnosti a inteligencie.

Jedným z najdôležitejších faktorov, ktoré ovplyvňujú kvalitu automatických systémov riadenia sú metódy automatického riadenia. V súčasnosti sa pre väčšinu úloh riadenia spojitéch procesov aplikuje rád tradičných metód založených na spojitéch a diskretných verziách konvenčných PID regulátorov využívajúcich vstupno-výstupný opis, ako aj stavových regulátorov (LQ a LQG) využívajúcich stavové opisy regulovaných procesov. Na ich základe sa vyvíjajú nové metódy modelovania a riadenia priemyselných procesov majúce vlastnosti robustnosti, adaptivity, prediktivity a umelej inteligencie. Nové metódy využívajú najnovšie poznatky matematiky, teórie automatického riadenia, umelej inteligencie, informačných a komunikačných technológií. Integrácia najnovších poznatkov vo všetkých vedných oblastiach spolu s rozvojom najnovších trendov v informačných technológiách umožňuje vytvárať vysoko efektívne algoritmy a postupy riadenia procesov na všetkých úrovniach riadenia zložitých komplexných procesov. Výučba metód automatického riadenia spojitéch a diskretných systémov kopíruje súčasné trendy vývoja týchto metód, požiadavky priemyselnej praxe a

Význam modelovania a riadenia diskretných procesov (DEDS) bol determinovaný rozvojom teórie automatov, diskretnéj matematiky, výpočtovej techniky a informačných technológií. Aplikácia DEDS v ostatných rokoch neustále narastá v dôsledku toho, že moderný priemysel vyžaduje vytvárať stále zložitejšie a komplexnejšie systémy, ktoré sa dajú efektívne efektívne riadiť prostredníctvom PLC. Aplikácie v uvedenej oblasti sa neustále rozširujú (automobilový priemysel, letecký priemysel, pružné výrobné systémy, dopravné systémy komunikačné systémy, distribuované počítačové systémy a iné) a vzhľadom na svoju jednoduchosť pri programovaní algoritmov a ekonomickú výhodnosť technického riešenia sa PLC stavajú výhodnejšími riadiacimi systémami v porovnaní s veľkými výpočtovými a riadiacimi systémami.

Kombináciou spojitéch a diskretných systémov vznikajú hybridné systémy. Hybridné systémy riadenia väčšinou vznikli z metodiky riadenia spojitéch procesov za pomoci počítača, ako je napríklad riadenie výroby, komunikačných sietí, alebo pri hierarchických štruktúrach riadenia komplexných riadiacich systémov, ktoré riadime a koordinujeme ako zložité hybridné systémy. Poznamenajme, že v poslednom prípade, vyššie úrovne v hierarchii vyžadujú menej detailné modely (diskretné abstrakcie) funkčnosti ako nižšie úrovne, ktoré vyžadujú interakciu diskretných i spojitéch komponentov. Hlavnou črtou štúdia hybridných riadiacich systémov je

navrhovanie sekvenčných riadiacich regulátorov pre spojité systémy, a v súčasnosti je ich vývoj orientovaný na návrh je návrh inteligentných riadiacich systémov s vysokým stupňom autonómie. Zavedenie hybridných systémov do výučby zakladá novú a fascinujúcu disciplínu spájajúcu automatizáciu, diskretnú matematiku, počítačové vedy, informatiku a telekomunikácie.

Je viacero dôvodov pre výučbu hybridných systémov vo výučbe v odboroch automatizácia pre neustále zvyšujúci sa počet aplikácií. Napríklad termostat vyzerá na prvý pohľad veľmi jednoducho, ale úplne adekvátne pre úlohu modelu komplexného dynamického prúdenia tepla; ďalší príklad: za účelom toho, aby sme sa vyhli narábaniu s množinou nelineárnych rovníc, môžeme si pre prácu zvoliť množinu jednoduchších rovníc (napr. lineárnych), a prepínať medzi týmito jednoduchšími modelmi. Digitalizácia a príchod číslicových systémov a prístrojov priniesol naozaj široké uplatnenie hybridných systémov v priemysle.

## 2 SPOJITÉ SYSTÉMY

Priemyselné procesy sa v súčasnosti neustále modernizujú a zdokonaľujú a spolu s rozvojom informačných a komunikačných technológií sa vyvíja neustály tlak na zdokonaľovanie a vylepšovanie metód automatického riadenia. Spojité priemyselné procesy sú zväčša komplexné viacparametrové dynamické systémy, a hlavným cieľom riadenia má byť zabezpečenie vysokej kvality výroby pri dodržaní spoľahlivosti, bezpečnosti a minimálnych nákladov. Výučba metód automatického riadenia prešla dlhodobým vývojom (viď. Tab.1) od konvenčných metód až po metódy moderné metódy využívajúce majúce vlastnosti robustnosti a inteligencie.

AUTOMATIC CONTROL METHODS			TABLE 1
Conventional Control Methods	Advanced Control – Classical Methods	Advanced Control I	Advanced Control II
1. Manual control	1. Adaptive control - Gain scheduling methods	1. Model predictive control (MPC) (Linear, Nonlinear)	1. Optimal control methods (LQ, LQG)
2. Feedback control (FB)	2. Time delay comp. control methods	2. Statistical Quality Control (SQC)	2. Nonlinear control methods (NC)
3. Cascade control (CC)	3. Multivariable-decoupling control	3. Internal Model Control (IMC)	3. Robust control methods (RC)
4. Ratio control (RC)	4. Selective/Override controllers	4. Adaptive and Self-tuning Control Methods (AC and STC)	4. Hybrid and discrete event control methods
5. Feedforward control (FWC)			5. Fuzzy control methods
6. Combined FB, FWC and CC control			6. Artificial neural and genetic control methods
			7. Fuzzy -neuro and fuzzy genetic predictive control methods

Jedným z najdôležitejších faktorov zvyšovania kvality priemyselných výrob sú metódy automatického riadenia. V priemyselnej praxi sa aplikuje rad tradičných metód riadenia založených na PID algoritmoch (86%), stavových regulátoroch ako aj na nových prediktívnych algoritmoch s prvkami robustnosti, adaptivity a umelej inteligencie, využívajúcich najnovšie poznatky matematiky, umelej inteligencie a informačných technológií.

Moderné metódy automatického riadenia sa vyznačujú týmito vlastnosťami:

1. umožňujú svojou variabilitou a pružnou štruktúrou riadiť rôzne typy dynamických procesov pri rešpektovaní ohraničujúcich podmienok na riadiace zásahy a regulované veličiny, rôznych typov neurčitosti

2. zaručujú stabilitu a kvalitu riadenia pri zohľadnení neurčitosti, veľkých dopravných oneskorení a nemodelovanej dynamiky
3. sú dobre algoritmovateľné, jednoducho implementovateľné a konfigurovateľné pre rôzne typy procesov a možnosti riadenia v reálnom čase

Je veľmi dobre známe, že veľká väčšina spätnoväzobných systémov riadenia môže byť uspokojivo riadená pomocou jednoduchých lineárnych regulátorov typu P/PI/PID. V priemyselnej praxi sú často tieto regulátory nastavované priamo technickými pracovníkmi alebo technológmi dobre ovládajúcimi chovanie sa procesu. Priame použitie metód optimálneho nastavenia založených na známych technikách (štandardné tvary, optimálny modul, Ziegler-Nichols a pod.) využívajúcich znalosť matematického modelu je však v praxi menej časté. Využívajú sa však graficko-analytické metódy založené predovšetkým na znalosti prechodových charakteristík (kmitavých a aperiodických), ktoré sa dajú vo väčšine prípadov v priemysle dobre zmerať a na základe nich spoľahlivo a rýchlo vypočítať optimálne koeficienty regulátorov

Robustifikácia riadiacich algoritmov a vplyv rozvoja inteligentných metód riadenia založených na fuzzy logike, umelých neurónových sieťach a genetických algoritmov ovplyvnil rozvoj metód automatického riadenia vo všetkých smeroch. Konvenčné PID regulátory ako aj prediktívne metódy riadenia predstavujú dnes najväčšie množstvo aplikácií v priemysle a preto aj vplyv nových metód najviac ich zasiahol v najväčšej miere. Je dobré, že okrem vývoja samotných metód dochádza aj k vývoju nových štruktúr regulácie. V priemysle je bežné, že zložité priemyselné procesy majú kombinované štruktúry regulácie (FB+FFW+kaskádná regulácia). Prax ukázala, že klasická spätnoväzbová štruktúra nie je schopná pre zložité priemyselné procesy zabezpečiť požadovanú kvalitu. Aj v súčasnosti dochádza k určitém modifikáciám týchto štruktúr, ako aj renesancii niektorých konvenčných metód výpočtu koeficientov konvenčných regulátorov. Súčasné požiadavky na výučbu metód automatického riadenia úzko súvisia s rozvojom špecifických oblastí priemyslu.

Nevyhnutnou súčasťou výučby moderných metód automatického riadenia sú stavové regulátory (spojité a diskrétné), ktoré sa uplatňujú v riadení priemyselných procesoch vo väčšej miere až v posledných rokoch. Metódy riadenia v stavovom priestore Linear Quadratic (LQ) a Linear Quadratic Gaussian (LQG) predstavujú tretiu najúspešnejšiu skupinu metód aplikovaných do praxe. LQ a LQG metódy sú pre prax dostupné už viac ako 40 rokov. V porovnaní s konvenčnými PID regulátormi je ich počet oveľa menší, pričom riadiaci zásah je realizovaný ako lineárna kombinácia stavových premenných, diskrétnom kroku. LQG je veľmi výkonná stratégia riadenia aplikovateľná v praxi u niekoľko rokov. Stavové regulátory sú v súčasnosti používané ako :

- Stavové regulátory bez pozorovateľa a s rozšíreným pozorovateľom. Metódy sa môžu použiť na odhad stavov dynamického systému a ako spätnoväzbové riadenie od stavových alebo výstupných veličín.
- Stavové, prediktívne (lineárne, nelineárne), adaptívne a self-tuning algoritmy regulácie. Sú to výpočtovo náročné algoritmy vyznačujúce sa dobrou stabilitou a robustnosťou.
- Stavové nelineárne fuzzy-neuro prediktívne regulátory, stavové pole-placement neurónové regulátory, stavové neurónové regulátory s pozorovateľom.

Ďalšou skupinou metód riadenia spojitých procesov, ktoré sú súčasťou výučby moderných metód riadenia sú viacrozmerné metódy riadenia (MCS), ktoré predstavujú skupinu metód riadenia pre procesy s viacerými vstupmi a výstupmi. Viacrozmerné stratégie riadenia sú známe okolo 30 rokov. Počet MCS aplikácií v priemysle v roku 1990 bol okolo 41, z toho dekompozičných prístupov bolo viac ako 15. Pre porovnanie s rokom 1990 v súčasnosti je počet aplikácií MCS väčší ako 2600. MCS sa aplikujú vtedy, ak existujú silné interakcie medzi jednotlivými podprocesmi a tieto vplyvy nedokážeme vykompenzovať nezávislými regulačnými slučkami (typu PID). Existujúce MCS metódy riadenia využívajú aj niektoré :

- dekompozičné prístupy návrhu regulátorov so zabezpečením autonómnosti riadenia a kompenzáciou väzieb z čiastkových podprocesov.
- Najväčší trend v riešení viacrozmerných úloh riadenia predstavujú v súčasnosti konvenčné prediktívne metódy (HMPC, DMC, IDMC, NMPC a v súčasnosti fuzzy-neuro prediktívne prístupy).

Výučba nelineárnych metód automatického riadenia je silno závislá od ich využitia v priemyselných aplikáciách. Mnoho popredných výskumných kolektívov v Európe sa v posledných rokoch aktívne zaoberalo metódami syntézy nelineárnych systémov. Napriek tomuto mimoriadnemu úsiliu existuje priepasť medzi samotným výskumom a počtom aplikácií v priemysle. V poslednom čase predovšetkým systémy riadenia v letectve, autodoprave a kozmonautike aplikujú metódy nelineárneho riadenia. PID algoritmy sa pre riadenie nelineárnych procesov aplikujú predovšetkým v hydraulických a pneumatických systémoch riadenia. Pre praktické aplikácie nelineárnych algoritmov riadenia je možné využiť nasledovné stratégie riadenia:

- tradičné nelineárne stratégie riadenia (nelineárne modifikácie PID algoritmov, nelineárne transformácie vstupných alebo výstupných premenných, gain scheduling techniky a pod.)
- algoritmy riadenia na základe vstupno-výstupnej a spätnoväzbovej linearizácie
- algoritmy riadenia na báze nelineárnych prediktívnych technikách (Volterreové rady)

V posledných piatich rokoch je mimoriadny záujem o aplikáciu prediktívnych metód riadenia (MPC) v praxi umožňujúcich efektívne riadenie procesov s viacerými vstupmi a výstupmi pri zohľadnení ohraničujúcich podmienok na vstupy, výstupy a ich zmeny. Model Predictive Control (MPC) patrí do skupiny moderných metód riadenia, ktoré využívajú pre výpočet riadiaceho zásahu matematický model procesu určený z meraných procesných údajov (vstupno/výstupný model, stavový model, fuzzy modely, neurónové modely, fuzzy-neuro modely. MPC prístup je založený na riešení dvoch základných úloh:

- Explicitná predikcia chovania sa procesu v budúcnosti
- Výpočet postupnosti hodnôt riadiaceho zásahu zabezpečujúceho sledovanie referenčnej premennej výstupnou regulovanou veličinou.

Typické moderné MPC prístupy majú nasledovné vlastnosti :

- § využívajú model procesu, a to buď parametrický alebo neparametrický (impulzná alebo prechodová funkcia) Tento nový trend kladie zase zvýšeny tlak na potrebu výučby moderných optimalizačných technik do výučby. Ukazuje sa že komplexné procesy s mnohými vstupmi a výstupmi vyžadujú aplikáciu prediktívne algoritmy regulácie
- § umožňuje zohľadniť dopravné oneskorenie, inverznú odozvu a pomerne zložitú dynamiku procesov
- § kompenzujú vplyv merateľných a nemerateľných porúch (dopredné formy riadenia)
- § sú formulované ako optimalizačný problém pri zohľadnení ohraničujúcich podmienok

Konvenčné metódy návrhu regulátorov sú rozpracované na dobrej úrovni pre procesy opísané predovšetkým lineárnymi modelmi, či už ide o klasické, robustné alebo adaptívne regulátory. Tieto metódy však nie sú efektívne a vhodné pre riadenie nelineárnych procesov. Väčšina súčasných metód návrhu regulátorov vychádzajúcich z nelineárnych modelov vyžaduje úplnú znalosť riadeného procesu, čo dosť často nie je možné. Vytvárajú sa preto metódy návrhu robustných, prípadne adaptívnych nelineárnych regulátorov, ktoré je možné využiť pri riadení nelineárnych a časovo premenlivých procesov alebo procesov s neznámym matematickým opisom.

Rozvoj metód riadenia patriacich do skupiny tzv. *soft technik* umožnil ďalšie skvalitnenie riadiacich algoritmov spojitych procesov. Jedným z možných spôsobov je napr. návrh a aplikácia regulátorov realizovaných na báze fuzzy logiky, umelých neurónových sietí a genetických algoritmov. Fuzzy riadenie pritiaхло pozornosť v priemysle pred niekoľkými rokmi, ktorá však v súčasnosti mierne poklesla. Skúsenosť ukázala, že je to prístup aplikovateľný dvoma spôsobmi: na generovanie jednoduchého nelineárneho regulátora, ktorý nejako rieši problém pre nie príliš vysoké požiadavky na kvalitu na základe metódy pokusov a omylov (nízke náklady a nízka kvalita), alebo na integrovanie dostupných kvalitatívnych znalostí o vplyve dodatočných známych alebo merateľných veličín pôsobiacich v riadiacom obvode, čo býva inak obtiažne kvôli neznalosti kvantitatívneho matematického modelu a interakcií. V oblasti vývoja fuzzy metód dochádza v súčasnosti k modifikácii konvenčných metód modelovania a riadenia silno-nelineárnych procesov (Fuzzy Inverse Control -FIC, Fuzzy Internal Model Control-FIMC a Fuzzy Model-based Predictive Control-FMMP) a kombináciou s neuro prístupmi a genetickými algoritmi vznikajú veľmi kvalitné riadiace algoritmy neporovnateľne lepšie s konvenčnými prístupmi. Umelé neurónové siete sú silným modelovacím a riadiacim prostriedkom a môžu v budúcnosti prispieť k rozvoju teórie automatického riadenia vďaka svojim univerzálnym aproximácnyim vlastnostiam zohrávať významné miesto v oblasti modelovania zložitých nelineárnych procesov, ako aj v oblasti automatického riadenia. V úlohách riadenia zložitých technologických procesov môže neurónová sieť v regulačnom obvode zastávať funkciu *modelu, regulátora, predikčného člena apod.* a teda nahrádzať *konvenčné* prvky regulačného obvodu.

Výučba metód fuzzy a neuro riadenia je v súčasnosti realizovaná v predmetoch inžinierskeho štúdia a je tak teoretického ako aj praktického zamerania s možnosťou .

Výučba spojitych metód automatického riadenia sa v súčasnosti realizuje na základe interaktívnych prostredí umožňujúcich rýchlo zvládnuť metódy a princípy modelovania, výber optimálnej stratégie riadenia zabezpečujúcej čo najvyššiu kvalitu regulácie a stabilitu riadenia a interaktívnej simulačnej grafickej prezentácii

riešenia.. Kombináciou numerických riešení a použitia grafických rozhraní a technológií WEB je možné dosiahnuť výrazne zlepšenie kvality výučby.

Zmenili sa dnes aj spôsoby výučby týchto metód keď namiesto konvenčných cvičení majú študenti cez vzdialené laboratória možnosť efektívne modelovať, riadiť a simulovať regulačné pochody. Virtuálna realita je jednou z ďalších fenoménov doby umožňujúci vizualizovať a animovať regulačné pochody a kombinovať numerické riešenia s grafickou interpretáciou výsledkov.

### 3 UDALOSTNÉ SYSTÉMY

#### 3.1 Diferenciálna diagnostika udalostných systémov

Teória i prax automatického riadenia sa v prevažnej miere sústreďuje na dynamiku systémov. V nej pozícia času je primárna u dynamických systémov spojitého času (CVDS – continuous variable dynamic systems). Tieto systémy sú typicky časovo aktívne (time-driven). Ich stavy v rámci stavového priestoru sa menia tak, ako sa mení, plynie čas. Stavy, ako aj vstupy a výstupy systému sú reprezentované spojitémi veličinami obvykle agregovanými do vektorov, ktoré môžu nadobúdať hodnoty z intervalov reálnych (prípadne komplexných) čísiel. Takéto systémy sú často reprezentované matematickým modelom

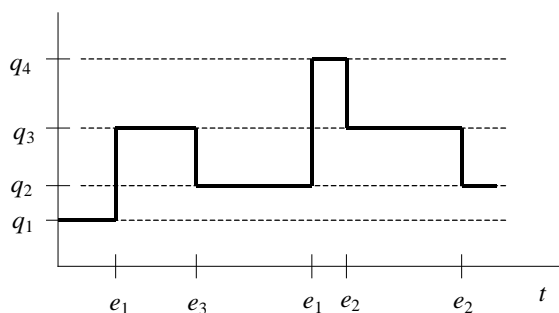
$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) & \mathbf{x}(t_0) &= \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{g}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) \end{aligned} \quad (1)$$

kde  $\mathbf{x}$  je vektor stavových,  $\mathbf{u}$  vstupných a  $\mathbf{y}$  výstupných veličín. Model (1) je možné vhodne linearizovať, upraviť na časovo-invariantný atď.

CVDS je možné tiež reprezentovať sústavou diferenčných rovníc s diskretizovaným časom, t.j., čas je daný postupnosťou diskretných časových okamžikov  $t_1, t_2, \dots, t_N$ , kde eventuálne intervaly  $\Delta_i = t_i - t_{i-1} = const$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ . V časových okamžikoch  $t_i$  sa predpokladá zmena stavu, nakoľko spojité veličiny sa menia spojitě s časom (odhliadnuc od prípadu, že veličiny môžu byť v priebehu konečného intervalu konštantné). Sem je možné zahrnúť aj prípad, keď systémové veličiny sú len z konečného oboru hodnôt. Pre zjednodušenie úvah tento prípad nebudeme rozvádzať.

Súhrnne teda máme: charakteristickými črtami CVDS sú spojitý stavový priestor a časová aktívnosť.

Od CVDS je treba odlíšiť systémy udalostné – diskrétné udalostné dynamické systémy (discrete event dynamic systems – DEEDS). Charakteristickými črtami tejto triedy systémov je diskretný stavový priestor a udalostná aktívnosť. Zmeny stavov u DEEDS vznikajú pôsobením, výskytom udalostí z udalostnej množiny  $\Sigma = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ . Priamou príčinou zmeny stavu je udalosť a nie čas. Čas má význam evidenčný, t.j., je možné zaznamenať, v ktorom časovom okamžiku, alebo po uplynutí akého časového intervalu, daná udalosť nastala. Obr. 1 znázorňuje jednu trajektóriu udalostného systému.  $\{q_1, q_2, q_3, q_4\}$  sú stavy systému.



Obr.1 Udaloštné aktívny systém

#### 3.2 Modelovanie DEEDS a ilustračné príklady

Klasickým matematickým modelom pre DEEDS je konečný automat. Uvedme tu deterministický konečný automat v tvare päťice

$$A = (\Sigma, Q, q_0, d, F) \quad (2)$$

- kde
1.  $\Sigma$  je neprázdna množina udalostí,
  2.  $Q$  je neprázdna množina prvkov nazývaných stavy,

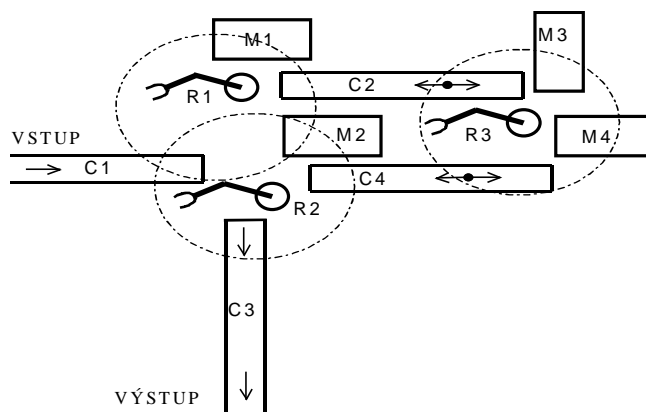
3.  $q_0 \in Q$  počiatočný (alebo štartovací) stav,
4.  $d$  je parciálna prechodová funkcia daná výrazom  $d: Q \times \Sigma \rightarrow Q$ , v ktorom kartézsky súčin  $\times$  znamená, že usporiadanej dvojici prvkov množín  $Q$  a  $\Sigma$  sa priradí prvok z množiny  $Q$ , formulácia "parciálna funkcia" znamená, že funkcia  $d$  nemusí byť definovaná pre všetky usporiadané dvojice, ktoré sa dajú vytvoriť z množín  $Q$  a  $\Sigma$ ,
5.  $F$  je množina cieľových stavov daná ako podmnožina  $Q$ :  $F \subseteq Q$ , kde  $F$  môže byť prázdna množina.

Je vidieť, že model v tvare (2) vykazuje charakteristické črty DEDS: je definovaná konečná množina stavov, takže stavový priestor je diskretný, zmena aktuálneho stavu  $q_i$  nastáva v dôsledku udalosti  $e_j$ , čo je vyjadrené prechodovou funkciou  $d(q_i, e_j) = q_k$  a čas nie je explicitne v modeli vyjadrený.

Význam modelovania a riadenia DEDS v ostatných rokoch neustále narastá v dôsledku toho, že ľudia vytvárajú stále zložitejšie a komplexnejšie systémy javiace sa typicky a prirodzene ako udalostné systémy. Sú to napr. pružné výrobné systémy, dopravné systémy vo výrobe, dopravné systémy ľudí a nákladov pozemné, vzdušné a vodné, komunikačné systémy, distribuované počítačové systémy a iné. Funkcia udalostných systémov je menej často procesná, ale častejšie koordinačná, hierarchicky nadradená nad procesným riadením. Obr. 2 ukazuje príklad pružného výrobného systému s tromi robotmi, kde typickými udalosťami sú príchod dielcov do systému, štart a stop pásových dopravníkov, začiatok a koniec výrobných operácií atď. Predmetom udalostného nie je riadenie a regulácia pohybov ramien robotov, pohybu dopravníka a ostatné pochody na procesnej úrovni.

Modely DEDS umožňujú analyzovať a riešiť nasledovné problémy, ktoré sa v nich vyskytujú:

- synchronizácia udalostí,
- súbežnosť,
- paralelizmus,
- konflikty,
- vzájomné vylúčenie,
- mŕtve stavy systému,
- živosť systému,
- reverzibilitnosť,
- dosiahnuteľnosť stavov,
- rozvrhovanie udalostí, a iné.



Obr. 2 Pružný výrobný systém s 3 robotmi, 4 pásovými dopravníkmi a 4 obrábacími centrami

Pre modelovanie DEDS majú veľký význam matematické grafy. Konečný automat je v podstate jednoduchý, ohodnotený, orientovaný matematický graf. Dá sa preto tiež znázorniť nákresovo graficky. Túto vlastnosť sprostredkujúcu názornosť a informačnú hutnosť majú aj iné významné modelovacie prostriedky DEDS, ako sú Petriho siete, stavové digramy a iné.

Jednotlivé trajektórie DEDS predstavujú postupnosti udalostí. Toto je základ vzťahu modelov DEDS ku formálnym jazykom. Správanie DEDS je opísateľné pomocou jazyka  $L \subseteq \Sigma^*$ , kde  $\Sigma^*$  je množina všetkých postupností generovateľných z prvkov (prvky sa môžu opakovať) udalostnej množiny  $\Sigma$  a navyše je do  $\Sigma^*$  zaradená prázdna postupnosť  $\epsilon$ . Modely DEDS založené na formálnych jazykoch sú osobité a niekedy užitočné v tom, že neobsahujú stavy systému.

### 3.3 Prehľad modelov DEDES

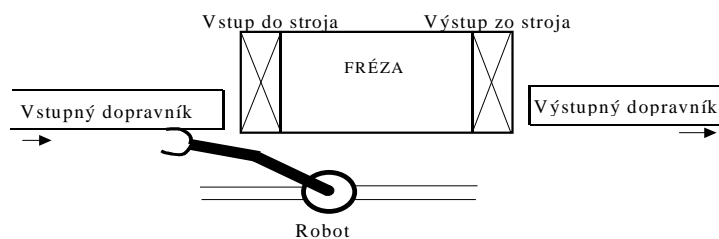
Konečné automaty pri použití na modelovanie DEDES trpia značným nedostatkom, ktorý sa často prejavuje v netransparentnosti a ťažkopádosti v dôsledku enormného narastania množiny stavov automatu  $Q$ . Tento nedostatok prekonávajú iné triedy modelov, a to najmä Petriho siete a stavové diagramy.

Existuje mnoho tvarov Petriho sietí. Ich základom je štandardná Petriho sieť v tvare

$$PN = (P, T, F, W, M) \quad (3)$$

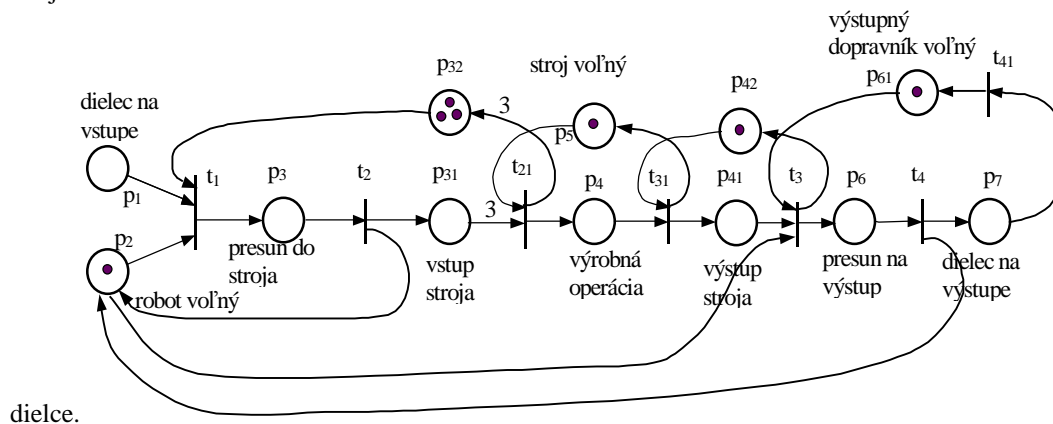
kde  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  je konečná neprázdna množina prvkov, ktoré sa nazývajú miesta,  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  je konečná neprázdna množina prvkov nazývaných prechody a  $F$  je zjednotenie dvoch binárnych relácií  $F_1$  a  $F_2$ :  $F = F_1 \cup F_2$ .  $P$  a  $T$  sú disjunktné množiny, teda  $P \cap T = \emptyset$  (prázdna množina).  $F_1$  je binárna relácia z množiny  $P$  do množiny  $T$ :  $F_1 \subseteq P \times T$ . Analogicky je binárna relácia  $F_2 \subseteq T \times P$  z  $T$  do  $P$ .  $F$  je množina usporiadaných dvojíc pozostávajúcich z miesta a prechodu, alebo z prechodu a miesta.  $F$  nazývame toková relácia. Platí, že  $\forall p_i \in P: \exists t_j \in T$  také, že  $(p_i, t_j) \in F$  a  $\forall t_s \in T: \exists p_r \in P$  také, že  $(t_s, p_r) \in F$ .  $W$  je váhová funkcia daná ako  $W: F \rightarrow \mathbf{I}^+$ , kde  $\mathbf{I}^+$  je množina kladných čísel. Čísla, ktoré sú touto funkciou priradené dvojiciam z  $F$  nazývame váhy.  $M_0$  je funkcia určujúca počiatočné označkovanie siete:  $M_0: P \rightarrow \mathbf{I}^+ \cup \{0\}$ . Váhy sú konečné čísla. Funkciu  $M: P \rightarrow \mathbf{I}^+ \cup \{0\}$  nazývame označkovanie Petriho siete. Dynamika systému je vyjadrená pomocou spustiteľnosti prechodov Petriho siete a ich spúšťaním. Prechod  $t$  v danej Petriho sieti je spustiteľný pri danom označovaní  $M$  vtedy a len vtedy, ak: a) pre všetky vstupné miesta prechodu  $t$  platí, že označkovanie vstupných miest je väčšie, najmenej rovné váham hrán vedúcich zo vstupného miesta do prechodu  $t$ , b)  $t$  nemá žiadne vstupné miesta. Ak je prechod Petriho siete spustený, z predmiest prechodu sa odoberú značky podľa váh vstupných hrán a do miest za prechodom sa vložia značky podľa váh výstupných hrán.

Príklad využitia Petriho siete ja na obr. 4 pre výrobný systém zobrazený na obr. 3.



Obr. 3 Robotizovaná výrobná bunka

Opis systému: dielec, vstupujúci do výrobnjej bunky po vstupnom dopravníkovom páse, je presunutý na frézu. Na presun dielca do vstupného priestoru stroja (frézy) musí byť na vstupnom dopravníku prítomný dielec pripravený na obrobenie a robot musí byť voľný. Musí byť taktiež voľná fréza. Po ofrézovaní dielec prechádza na výstup frézy. Ak je robot voľný, môže zahájiť presun dielca na výstupný dopravníkový pás. Do obrábacieho stroja treba vložiť tri dielece.



dielece.

Obr. 4 Petriho sieť pre výrobnú bunku

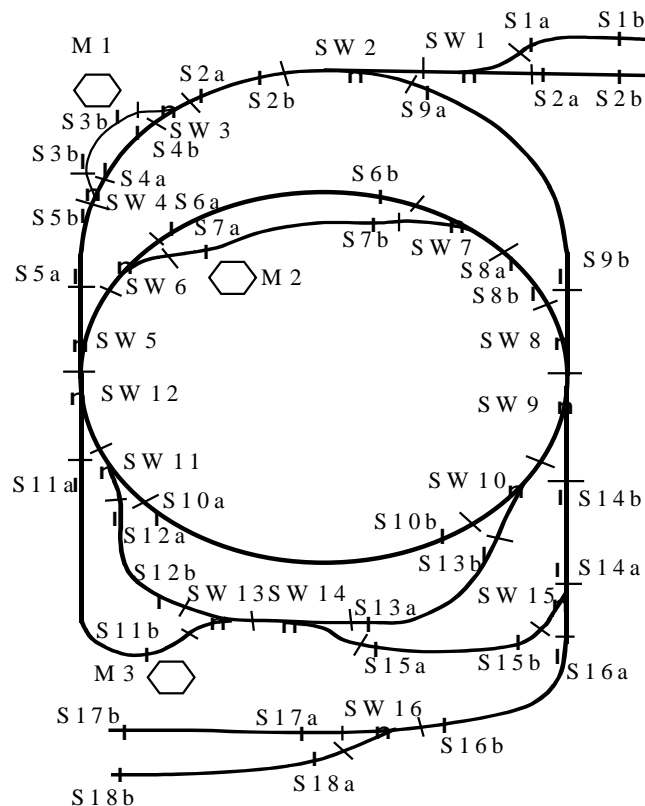


Petriho sieť umožňuje analýzu jej vlastností, ako je dosiahnuteľnosť označovaní, ohraničenosť Petriho siete, živosť, reverzibilitnosť, a mnoho ďalších. Tieto vlastnosti sú odrazom vlastností modelovaného reálneho systému, ako je obmedzenosť zdrojov, cykličnosť funkcie, vznik mŕtvych stavov (dead-locks) a iných.

Bolo vyvinutých mnoho tvarov Petriho sietí, ako sú farebné Petriho siete, stochastické, fuzzy, rôzne časované Petriho siete a iné. Dôležité sú tiež tie tvary, ktoré uspôsobujú Petriho siete na špecifikáciu riadenia. Sú to rôzne Petriho siete interpretované na riadenie. Základnou myšlienkou je doplniť definície Petriho sietí o funkcie priradujúce prechodom výrazy, v ktorých sú začlenené vonkajšie alebo vnútorné veličiny systému alebo udalosti ako ďalšie podmienky na spustenie prechodov a o funkcie priradujúce miestam príkazy, akcie, ktoré sa aktivujú s príchodom značiek do miesta a ktoré predstavujú reaktívne pôsobenie riadiaceho systému na systém riadený. Petriho siete interpretované na riadenie môžu byť podkladom na písanie riadiacich programov. Umožňujú analýzu funkcie riadenia a efektívne písanie riadiacich programov so znížením pravdepodobnosti výskytu chýb, prípadne umožňujú automatické generovanie programov.

Petriho siete tzv. vyšších rádov ako sú napr. farebné Petriho siete poskytujú možnosť rozsiahlych špecifikácií vnútorných i vonkajších súvislostí v systéme, resp. komplikované vzťahy udalostí a stavov modelovaného systému. U farebných Petriho sietí má každá značka svoju individualitu danú súborom údajov z množiny (tzv. farieb), ktoré sú značke priradené. Hranám spájajúcim miesta s prechodmi, alebo naopak, sú priradené výrazy, ktoré tvoria podmienky závislé na farbách značiek nachádzajúcich sa v predmiestach daného prechodu. Prechod je umožnený, ak sú v predmiestach značky s farbou, ktoré špecifikujú výrazy hrán z miest do prechodov. Spustením prechodu sú značky podľa výrazov hrán z miest do prechodov odobraté z predmiest a podľa výrazov hrán z prechodov do miest sú vytvorené farby značiek (farby môžu byť zmenené) vložených do miest za prechodmi.

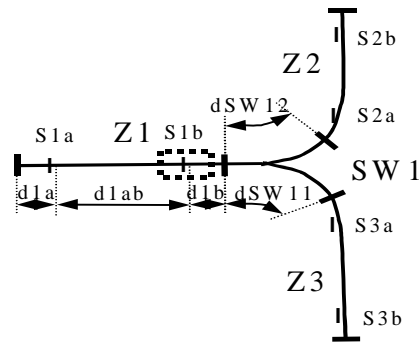
Použitie farebných Petriho sietí bude ilustrované na výrobnom dopravnom systéme znázornenom na obr. 5.



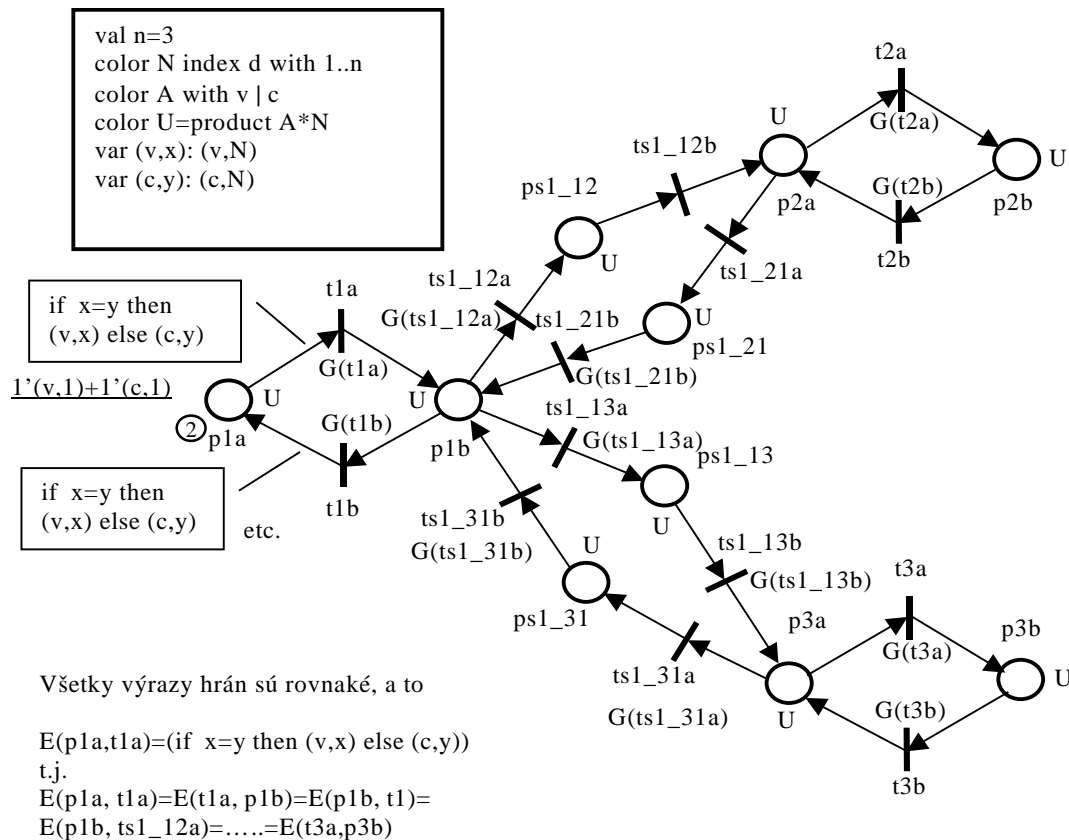
Obr. 5. Dopravný systém vo výrobe

Dopravný systém je rozčlenený na zóny. V nich sa nachádzajú po dvoch senzoch Sia, Sjb, ktoré indikujú prítomnosť automaticky navádzaného vozidla (AGV – automatic guided vehicle). V zóne sa môže nachádzať len jedno vozidlo. Mk sú obrábacie centrá. Požiadavky na prepravu vznikajú pravidelne a cyklicky sa opakujú, alebo vznikajú spontánne podľa situácie vo výrobe. Automatický riadiaci systém určuje a riadi optimalizovaný bezkolízny pohyb vozidiel.

Uvažovaný dopravný systém je zložený z elementárnych modulov zobrazených na obr. 6. Farebná Petriho sieť modelujúca tento modul je na obr. 7. Takto je možné zostaviť farebnú sieť pre ľubovoľný dopravný systém danej triedy.



Obr. 6 Elementárny stavebný modul dopravného systému



$G(t1a) = (w1a - 1b = T) \wedge \{ [M(p1a) = (v,N) \wedge M(p1b) = (0,0)] \vee [M(p1a) = (c,N) \wedge m1b = T] \}$   
 $G(t1b) = (w1b - 1a = T) \wedge \{ [M(p1b) = (v,N) \wedge M(p1a) = (0,0)] \vee [M(p1b) = (c,N) \wedge m1a = T] \}$   
 $G(ts1_{12a}) = (w1b - s1_{12} = T) \wedge \{ [M(p1b) = (v,N) \wedge M(ps1_{12}) = (0,0)] \vee [M(p1b) = (c,N) \wedge m2a = T] \}$   
 $G(ts1_{12b}) = (ws1_{12} - 2a = T) \wedge \{ [M(ps1_{12}) = (v,N) \wedge M(p2a) = (0,0)] \vee [M(ps1_{12}) = (c,N) \wedge m2a = T] \}$   
 $G(ts1_{21a}) = (w2a - s1_{21} = T) \wedge \{ [M(p2a) = (v,N) \wedge M(ps1_{21}) = (0,0)] \vee [M(p2a) = (c,N) \wedge m1b = T] \}$   
 $G(ts1_{21b}) = (ws1_{21} - 1b = T) \wedge \{ [M(ps1_{21}) = (v,N) \wedge M(p1b) = (0,0)] \vee [M(ps1_{21}) = (c,N) \wedge m1b = T] \}$

$G(ts1_{13a}) = (w1b - s1_{13} = T) \wedge \{ [M(p1b) = (v,N) \wedge M(ps1_{13}) = (0,0)] \vee [M(p1b) = (c,N) \wedge m3a = T] \}$   
 $G(ts1_{13b}) = (ws1_{13} - 3a = T) \wedge \{ [M(ps1_{13}) = (v,N) \wedge M(p3a) = (0,0)] \vee [M(ps1_{13}) = (c,N) \wedge m3a = T] \}$   
 $G(ts1_{31a}) = (w3a - s1_{31} = T) \wedge \{ [M(p3a) = (v,N) \wedge M(ps1_{31}) = (0,0)] \vee [M(p3a) = (c,N) \wedge m1b = T] \}$   
 $G(ts1_{31b}) = (ws1_{31} - 1b = T) \wedge \{ [M(ps1_{31}) = (v,N) \wedge M(p1b) = (0,0)] \vee [M(ps1_{31}) = (c,N) \wedge m1b = T] \}$   
 $G(t2a), G(t2b), G(t3a), G(t3b)$  je vytvorený analogicky

Obr. 7. Farebná Petriho sieť pre elementárny modul

Farby U sú dané dvojicami  $(v,1), (v,2), \dots, (v,n), (c,1), (c,2), \dots, (c,n)$ . S farbou  $(v,i)$  súvisia príkazy na pohyb i-teho vozidla, s farbou  $(c,i)$  súvisí indikácia polohy tohto vozidla prostredníctvom senzorov zón.  $G(\dots)$  sú podmienky spúšťania prechodov vyplývajúce z optimalizačného algoritmu pre určenie trás a zo signálov zo senzorov prítomnosti vozidiel.

Prepracovaným nástrojom na špecifikáciu riadenia je Grafcet, ktorý je odvodený od Petriho sietí. Grafickým nástrojom na tvorbu riadenia DEDS sú aj stavové diagramy. Ich prednosťou je efektívne vytváranie hierarchicky rozčlenených modelov riadenia.

### 3.4 Štruktúra výučby a jej trendy

V predchádzajúcich statiach boli analyzované hlavné koncepčné idey teórie udalostných systémov. Táto analýza je názorným východiskom pre opis štruktúry a trendov výučby tejto disciplíny. Výučba je zameraná na špecifikáciu tejto triedy systémov a na ich modely, ktoré tieto špecifiká odrážajú a ktoré umožňujú efektívny návrh riadenia a tvorbu príslušných riadiacich programov. Uvedené aspekty sa premietajú do štruktúry výučby zameranej na modelovanie a riadenie diskretných udalostných dynamických systémov. Výučba je zabezpečovaná v predmete Teória udalostných systémov v rozsahu 3 hodinovej prednášky a 2 hodinového cvičenia týždenne v inžinierskom štúdiu v odbore Automatizácia na Fakulte elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave.

Prednáška z predmetu Teória udalostných systémov je členená do týchto tematických celkov:

1. Trieda udalostných systémov (DEDS) a význam teórie udalostných systémov pre inžiniersku prax.
2. Hlavné vlastnosti DEDS a základný prechodový systém podľa Mannu a Pnueliho.
3. Základy diskretnej matematiky, matematických grafov a formálnych jazykov.
4. Konečné automaty.
5. Vlastnosti reaktívnych programov, reaktívne vývojové diagramy, programovacie jazyky reálneho času, využitie programovateľných logických automatov (PLA).
6. Štandardné Petriho siete. Vlastnosti a vektorová reprezentácia.
7. Určovanie vlastností Petriho sietí ako je živosť, ohraničenosť, reverzibilitnosť, existencia P- a T-invariantov a iné.
8. Triedy Petriho sietí. Petriho siete interpretované na riadenie.
9. Modelovanie systémov s využitím Petriho sietí.
10. Farebné Petriho siete.
11. Iné Petriho siete vyšších rádov ako sú stochastické, fuzzy a iné.
12. Grafcet.
13. Transformácia Petriho sietí a Grafcetu do riadiacich programov. Programovanie PLA.
14. Stavové diagramy a ich využitie na programovanie riadenia.
15. Wonhamov model udalostných systémov a supervízorové riadenie. Riešenie supervízorového riadenia s využitím konečných automatov, s využitím P-invariantov Petriho siete a s využitím grafu dosiahnuteľnosti Petriho siete.
16. Optimálne rozvrhovanie operácií v udalostných systémoch.
17. Max-plus algebra a jej použitie na analýzu udalostných systémov.

Znalosti sprostredkované v uvedenej prednáške sa podporujú cvičeniami k predmetu. Cvičenia obsahujú nasledujúce bloky:

1. Riešenie úloh a problémov na precvičenie základov teórie udalostných systémov.
2. Praktická práca s laboratórnymi modelmi udalostných systémov. Sú to:
  - a. Pružný výrobný systém na párové spracovanie a manipuláciu dielcov.
  - b. Rotačné triediace zariadenie dielcov.
  - c. Dynamický systém s kmitajúcim telesom.
  - d. Obrábacie centrum obsluhované 3-osovým portálovým robotom.
  - e. Riadenie výšky hladiny v tanku.
  - f. Prekladacia stanica nákladných vlakov s dvomi portálovými žeriavmi.
  - g. Výrobný systém s manipulátormi a frézou.

- h. Výrobný systém s pásovými dopravníkmi, zásobníkmi a manipulátormi.
  - i. Dopravný koľajový zónový systém.
3. Práca s programami pre supervízorové riadenie.

Pre každý blok študenti spracovávajú písomnú prácu obsahujúcu výsledky riešenia zadaných úloh. V bloku laboratórnych modelov je potrebné vytvoriť modely správania a modely riadenia daného systému s využitím Petriho sietí, Grafsetu a stavových diagramov. Na základe modelu riadenia naprogramovať riadenie na programovacom logickom automate fy. Allen Bradley, Schneider Electric, alebo Siemens. Funkciu riadenia je treba prakticky odskúšať.

#### 4. NIEKTORE OTVORENÉ PROBLÉMY VÝUČBY V ODBORE AUTOMATIZÁCIA

V nedávnej minulosti technolog zodpovedajúci za priebeh výroby požiadal „automatizéra“ o zabezpečenie riadenia procesu v technologickom objekte, kde výkon a produktivita práce objektu boli výrazne vyššie ako v predchádzajúcom objekte výroby. Riadenie takého objektu vyvolalo podstatné zvýšenie počtu regulovaných a riadených prevádzkových veličín ako aj zvýšenie nárokov na kvalitu riadenia. Pripomeňme túto skutočnosť z energetiky, kde sa za posledných 30 rokov postupne zvyšovali výkony realizovaných energetických blokov tepelných elektrární z 50 MW na 110MW, 220MW, 500MW, 800MW a v súčasnosti prekročili hranicu 1000MW. Samozrejme, že zvyšovaním výkonov sa zvyšoval aj počet regulovaných a riadených prevádzkových veličín. Pod kvalitou riadenia teraz rozumieme nie len technické požiadavky na priebeh riadenia procesu, ale aj splnenie ekonomických, environmentálnych a bezpečnostných požiadaviek. Neustále zmeny požiadaviek trhu vyvolávajú zmenu technológie výroby, a to si žiada zabezpečiť robustnosť a adaptivitu riadeného procesu. Súhrnne je možné konštatovať, že na to, aby automatizér zabezpečil riadenie technologom navrhnutého procesu, potrebuje mať k dispozícii kvalitnejšie algoritmy riadenia, čo priamo vyvoláva podstatné zvýšenie počtu a kvality spracovania prevádzkovej informácie. V súčasnosti môžeme konštatovať, že

- výrazne sa informatizuje proces výroby, zabezpečuje sa paralelné spracovanie informácie, tokov energií a spracovanie hmoty

- vytvára sa nejasná deliaca čiara medzi riadením, kontrolou a zabezpečením výkonu
- systémy riadenia sa stávajú neoddeliteľnou súčasťou technologického agregátu
- výrazne sa zvyšuje systémový aspekt v riadení procesu výroby
- integrujú sa všetky tri hierarchické úrovne riadenia výroby (procesná, optimalizačná a koordinačná (systémová)) do integrovaného výrobného systému
- výrazne sa zvyšujú požiadavky na kvalifikáciu operátorov riadenia procesu.

Tento ohromný tlak praxe na teóriu vytvára priaznivú atmosféru pre rýchly rozvoj teoretických disciplín v oblasti automatizácie. Ešte výraznejší posun formulovania úloh „teórie riadenia“ nastal vtedy, keď sa vďaka výsledkom „computer sciences“ teoretické výsledky nehľadali v tvare výsledného analytického riešenia, ale úloha sa formulovala v takom tvare, aby ju „počítač“ vedel úspešne vyriešiť. Napriek nesporným úspechom teórie riadenia a ich uplatneniu v praxi sa zdá, že v tejto etape je teória riadenia ako dieťa, ktoré sa učí postaviť sa na vlastné nohy, začína si uvedomovať svoju dôležitosť v rozvoji jednotlivých odvetví národného hospodárstva, výrazne vplýva na efektívnosť riadenia výroby, a preto je odborníkmi akceptovaná a začína vplývať aj na rozvoj spoločnosti.

Pri búrlivom rozvoji teórie riadenia a jej prehlbujúcom sa prepájaní s informačnými vedami vzniká z hľadiska výučby veľmi dôležitá otázka. Akým vedomostiam je potrebné naučiť budúceho absolventa vysokej školy, aby mohol byť úspešný ako v praxi tak aj vo výskumnej a teoretickej oblasti? Odpoveď na postavenú otázku sa zdá byť veľmi jednoduchou. Absolventovi je potrebné dať poctivý základ teórie riadenia tak, aby ich vedel uplatniť v praxi. Výber základu teórie riadenia pre konkrétny predmet je úlohou každého vysokoškolského učiteľa. V konfrontácii s úrovňou katedrových predmetov a adekvátnych predmetov na zahraničných univerzitách dostane učiteľ veľmi dobrý obraz a predstavu o konkrétnom základe súčasnej modernej teórie riadenia.

Technické a programové prostriedky určené na vedenie pedagogického procesu sa výrazne skvalitnili. Prednášať len pomocou kriedy a tabule sa dnes pokladá za nemoderné. Modernizácia prednášok si vyžaduje:

- uplatnenie moderných technických a programových prostriedkov vo výučbe
- prudký rozvoj teórie riadenia
- požiadavky na systémový aspekt výučby
- požiadavky na rozvíjanie tvorivosti a praktickej zručnosti absolventa s dôrazom na „vedieť ako“
- zobrať do úvahy mentálne a psychické schopnosti študenta
- zobrať do úvahy požiadavky praxe spoločnosti na dosiahnutie úspechu a úspešnosť uplatnenia absolventa na trhu práce.

Predpokladajme, že mentálne a psychické schopnosti študenta aktívne pochopí odprednášajúcu látku so výrazným spôsobom v čase nemešania. Potom je jasné, že uplatnenie moderných technických a programových prostriedkov na prednáške, kde fakty a metódy sa rýchlo striedajú a učiteľova produktivita práce je na úrovni dosahujúcej skoro 200% oproti klasickej „kriede a tabuli“, že tento spôsob prednášania síce navonok vyzerá ako moderný, ale rozhodne skôr patrí do kategórie nevhodných prednášok. Tu je potrebné pripomenúť klasiku: nie je dôležité čo, prípadne koľko metód sa odprednáša, ale to, ako sa odprednáša, či je učiteľ schopný zapáliť študenta tak, aby on sám samostatne a tvorivo pristúpil k zvyšovaniu vlastnej kvalifikácie. A tu je ďalší problém výučby – študent, ktorý z hľadiska pedagogického procesu veľmi citlivo vníma nasledovné skutočnosti:

- možnosť úspešného uplatnenia v praxi po skončení štúdia
- požiadavky spoločnosti na úspešných ľudí
- požiadavky spoločnosti na absolventov vysokoškolského štúdia
- sociálne otázky štúdia
- užitočnosť konkrétnej prednášanej témy na rozvoj tvorivosti a praktickej zručnosti študenta („vedieť ako na to“).

Keď zhrnieme horeuvedené skutočnosti, každá téma prednášky by mala mať približne nasledovný obsah:

#### Problém – Fakty – Metódy – Príklady - Fakty

Keď porovnáme klasickejšiu a modernú prednášku, rozdiel by sa mal prejavovať v tom, že pri klasickej prednáške po krátkom úvode do problému sa navrhuje a teoreticky zdôvodňuje nová metóda návrhu a rieši sa malý (ilustračný) príklad (n-príkladov na domácu úlohu), moderným prístupom. Obsah látky by sa nemal podstatne rozšíriť (maximálne o 10%), ale formulácia problému a fakty doplnujúce a potvrdzujúce predkladanú metódu by mali byť obsahovo výrazne hlbšie a orientované tak, aby študent pochopil predloženú tému, vedel ju aplikovať na riešenie praktických problémov a prepojiť s inými témami daného a iných predmetov odboru. Formulácia problému by mala byť výrazne bohatšia a podopretá faktami. Základný postup teoretického odvodzenia metódy by mal ísť skôr klasickejšou cestou a modernými prostriedkami by mali byť ukázané rôzne aspekty a „základnosti“ odvodzenia danej metódy. Na príkladoch uvedených na prednáške by sa mali vysvetliť ďalšie zaujímavosti predkladanej témy a hlavne by sa malo ukázať na význam danej témy z hľadiska uplatnenia v praxi ako aj v návaznosti na už prebranú látku. Systémový prístup k riešeniu problémov by mal byť v celej prednáške dominujúci. Cvičenia by mali utvrdiť poznatky získané na prednáške a skvalitniť študentovu zručnosť pri praktickej aplikácii prebranej témy. Na tvorbe prednášky by sa mal zúčastniť okrem prednášateľa aj celý kolektív, ktorý pripravuje cvičenia.

Predložené témy majú za cieľ prispieť do diskusie o skvalitnení výučby v oblasti automatizácie.

## 5. ZÁVER

Česká a slovenská republika má pomerne dobre vyvinutý chemický priemysel, výrobu ocele, cementárske výroby, výrobu papiera a celulózy, plynárenský priemysel, gumárenský procesy riadenia v energetike (kotly, turbíny, generátory a pod.) z čoho rezultuje potreba výchovy takých absolventov bakalárskeho a inžinierskeho štúdia v oblasti automatizácie a priemyselnej informatiky, ktorí vedú pochopiť fyzikálne a chemické pochody v riadených procesoch (vedia proces modelovať v statickom a dynamickom režime), a na základe znalostí dynamických pochodov a modelu sú schopní vybrať vhodný riadiaci systém, navrhnuť alebo modifikovať riadiaci algoritmus a následne ho nakonfigurovať, verifikovať a zabezpečiť vizualizáciu procesov a komunikáciu s nadradenými systémami. V súlade s týmito požiadavkami ako aj s predpokladom možnosti uplatnenia absolventov štúdia v zahraničí vzniká potreba modifikácie a modernizácie foriem a obsahu bakalárskych a inžinierskych foriem štúdia v odbore. Seminár katedier automatizácie z ČR a SR ponúka možnosť otvorene diskutovať o aktuálnych problémoch a vytvárať tak nové smery, myšlienky a študijné programy vo výučbe absolventov automatizácie priemyselnej informatiky a iných blízko súvisiacich odboroch na českých a slovenských univerzitách.

**Budúcnosť - integrácia - komunita :  
automatizácia, informatika, telekomunikácie**



- výskumné ústavy
- univerzity
- súkromné organizácie
- medzinárodné organizácie
- štátne organizácie

## LITERATÚRA

- Bennett, S.A. 1996, Brief History of Automatic Control, *IEEE Control Systems Mag.* June pp.17-25
- Frank K., Paul M. (Ed), 2000 Advances in Control, In Highlights of ECC'99, Springer, , pp.1-25, 104 –134, ISBN 1-85233-122-4.
- Kozák, Š. 1997, Quo vadis control System Design? In IFAC Conference *New trends in design of Control Systems*, Internal material for The Round table discussions.
- Abel, D. (1990): *Petri-Netze für Ingenieure*. Springer-Verlag, Berlin.
- Cassandras, Ch. G., Lafortune, S. (2001): *Introduction to Discrete Event Systems*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Česka, M. (1994): *Petriho sítě*. Akademické nakladatelství CERM, Brno.
- Hrúz, B. (2003): *Modelovanie a riadenie diskretných udalostných dynamických systémov*. Vydavateľstvo STU, Bratislava.
- Starke, P. H. (1990): *Analyse von Petri-Netz-Modellen*. B. G. Teubner, Stuttgart.
- Zhou, M. C. (Ed.) (1995): *Petri Nets in Flexible and Agile Automation*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Zhou, M. C., Venkatech, K. (1998): *Modeling, Simulation and Control of Flexible Manufacturing Systems: A Petri Net Approach*. World Scientific, Singapore.