

**Slovenská technická univerzita
Fakulta elektrotechniky a informatiky**

Úvod do automatizácie Úvod do štúdia

Ladislav Jurišica
Mikuláš Huba

Študijný materiál vznikol v rámci projektu „STU Online“, ktorý bol zahrnutý do
„Rozvojových projektov 2002“ Ministerstva školstva Slovenskej republiky
Recenzent: prof. Ing. Ladislav Madarász, PhD.

Študijný materiál neprešiel odbornou jazykovou korektúrou

2002

OBSAH

| | |
|--|----|
| Predhovor | 5 |
| Vzdelávanie v oblasti automatického riadenia | 6 |
| Zmeny pracovného prostredia inžinierov | 7 |
| Zručnosti vyhľadávané firmami | 8 |
| 1 Úvod | 11 |
| 1.1 Najdôležitejšie princípy kybernetiky | 11 |
| 1.1.1 Spätná väzba | 11 |
| 1.1.2 Informácia | 11 |
| 1.1.3 Model | 12 |
| 1.1.4 Zákon nutnej variety | 12 |
| 1.2 Automatizácia | 12 |
| 1.2.1 Historické pohľady | 12 |
| Číslicové počítače v automatickom riadení | 16 |
| 1.2.2 Systémy automatického riadenia | 17 |
| 1.3 Informatika | 20 |
| 2 Automatické riadenie procesov | 21 |
| 2.1 Pružné výrobné systémy | 23 |
| 3 Základné pojmy | 25 |
| 3.1 Úvod | 25 |
| Aplikácie teórie systémov a modelovania v netechnických oblastiach | 25 |
| Čo je to modelovanie a matematický model? | 26 |
| 3.1 Druhy modelov | 27 |
| 3.2 Simulácia a simulátory | 28 |
| 3.3 Identifikácia systémov | 30 |
| Čo je to systém? | 30 |
| Zostavenie modelu | 32 |
| 3.4 Vstupy, výstupy a stavy systémov | 33 |
| 3.5 Základné metódy opisu systémov | 35 |
| 3.6 Zobrazovanie systémov | 36 |
| 3.7 Opis vlastností udalostných systémov | 37 |
| 3.7.1 Modely udalostných systémov | 37 |
| 3.8 Zhrnutie | 38 |
| 4 Technické a programové prostriedky | 41 |
| 4.1 Riadiace systémy | 41 |
| 4.1.1 Analógové riadiace členy | 41 |
| 4.1.2 Počítačové riadiace členy | 42 |
| 4.1.3 Programové vybavenie riadiacich systémov | 43 |
| 4.2 Senzorové systémy | 45 |
| 4.2.1 Základné požiadavky na senzorové systémy | 45 |
| 4.2.2 Základná koncepcia meracích systémov | 46 |
| Merané veličiny | 46 |
| 4.2.3 Spracovanie signálov | 47 |
| 4.3 Komunikačné systémy | 47 |
| 4.3.1 Základné pojmy | 47 |
| 4.3.2 Základné zbernice | 48 |
| Iné zbernice | 49 |
| 4.4 Akčné členy | 49 |
| 4.4.1 Klasifikácia systémov | 49 |

| | |
|--|----|
| 4.4.2 Bloky akčných členov | 50 |
| Motory | 50 |
| Výkonové zosilňovače | 50 |
| Snímače akčných členov | 51 |
| 5 Ekonomika | 53 |
| 5.1 Ekonomická efektívnosť automatizácie | 53 |
| 5.2 Prínosy automatizácie | 53 |
| 5.3 Problémy pri zavádzaní automatizácie | 54 |
| 6 Normy - normotvorná činnosť v automatizácii | 57 |
| Technické normy pre riadiace systémy a procesné meranie (základný prehľad IEC, ISO, STN) | 58 |
| 7 Princípy projektovania automatických riadiacich systémov | 61 |
| 7.1 Čo je projekt | 61 |
| 7.2 Základné postupy a úlohy | 62 |
| 7.3 Nástroje projektovania | 62 |
| 8 Príklady systémov | 65 |
| 8.1 Príklad riadenia servosystému | 65 |
| 8.2 Príklad riadenia kogeneračnej jednotky | 66 |
| 8.3 Príklad riadenia biotechnologického procesu | 67 |
| 8.4 Príklad riadenia budovy | 68 |
| 8.4 Príklad riadenia robota | 69 |
| 8.5 Príklad riadenia pružnej výrobnéj linky | 71 |
| 9 Trendy v automatizácii | 75 |
| 10 Profesionálne spoločnosti | 77 |
| 11 Časopisy | 78 |

Predhovor

V posledných desaťročiach sa podmienky vo sfére práce výrazne a veľmi rýchlo menia. Na jednej strane existuje v praxi veľká rôznorodosť zamestnaní a na druhej strane prebieha špecializácia činností, pričom dochádza k ich rýchlej zmene. Prax vyžaduje stále viac vysokú úroveň prípravy pracovníkov so spojením teoretickej a odbornej prípravy. Vzhľadom na uvedené sa vyžadujú flexibilné študijné programy umožňujúce uskutočňovať všeobecnú, viacúčelovú a interdisciplinárnu prípravu s nasledujúcou špecializáciou prípravy v úzkom vzťahu s praxou. To je jeden z dôvodov zavedenia viacstupňového vzdelávania na univerzitách.

Investície do vzdelania sú najefektívnejšie investície vôbec. Platí to ako pre štát tak pre jednotlivcov. Preto je veľmi dôležité, aby existovali stimuly, ktoré podporujú záujem o vzdelanie.

Informácie i vedomosti v dôsledku prudkého rozvoja poznania veľmi rýchlo zastarávajú. Inžinieri musia počas svojej odbornej kariéry zvládnuť mnoho technologických zmien vyžadujúcich pochopenie nových princípov, zvládnuť nové systémy a tiež zvládnuť nové techniky. Celoživotné vzdelávanie je preto mimoriadne dôležité.

Celkove je tendencia smerom k individuálnemu prístupu k štúdiu, na vťahnutie študentov do tvorivej činnosti, na hľadanie ďalšej motivácie a pod. Vzhľadom na rôznorodosť činností v praxi a dynamiku zmien požiadaviek na vedomosti, malo by byť vzdelanie orientované na osvojenie si všeobecnejších princípov a postupov odboru a nie konkrétnych zručností.

Dôležité je:

- rozvíjať schopnosti pre tvorivú inžiniersku prácu,
- rozvíjať schopnosť kooperácie a komunikácie,
- rozvíjať formálne a logické myslenie,
- všestranne rozvíjať osobnosť.

V učebnici je pozornosť venovaná **automatizácii, kybernetike** a vzťahom k iným vedám. Snáď niektoré podstatné súvislosti objasní historický pohľad na vývoj súvisiacich vied.

Programové riadenie je známe zo 14. storočia, keď sa realizovala myšlienka riadenia postupnosťou povelov. Vtedy išlo o hrací automat. Neskôr sa presadila snaha o zrýchľovanie monotónnych činností vo výrobe a v roku 1808 J.M.Jacquard použil kovovú diernu kartu na automatické riadenie textilného stroja. Regulačná technika začína už v polovici 18. storočia konštrukciou samočinného napájania kotla (Polzunov) a koncom 18. storočia zostrojením samočinnnej regulácie otáčok parného stroja (Watt). V roku 1932 významne prispel k rozvoju odboru Nyquist prácami o spätnej väzbe. V 40. až 50. rokoch minulého storočia nastal veľký skok v riešení systémov automatického riadenia použitím Laplaceovej transformácie.

Významné bolo skonštruovanie počítača ako prostriedku na automatizáciu numerických výpočtov. Najstarší návrh použitia počítača na riadenie pochádza z roku 1950. Použitie číslicového počítača na riadenie leteckých operácií je z roku 1954. Prvá priemyselná aplikácia v roku 1958 je z Lousiany, kde bol použitý počítač pri monitorovaní procesov výroby elektrickej energie. Prvým riadiacim systémom s uzatvorenou slučkou bol v roku 1959 systém RW-300 v rafinérii spoločnosti Texaco Company v Texase. Prvým systémom tzv. priameho číslicového riadenia bol Ferranti-Arguo 200, inštalovaný v továrne na výrobu amoniaku a sódy vo Fleetwodu. Niekoľko historických udalostí vzťahujúcich sa k riadeniu:

- 1833 – CH.Babbage predviedol švédskej akadémii diferenciálny počítačový stroj,
- 1865 – v strojárstve sa uplatňujú automatické sústruhy,
- 1869 – použil sa diferenciálny regulátor uhlíkov pre elektrickú oblúkovú lampu,

1893 – bol zostrojený prvý automatický tkáčsky stav,
 1914 – spustenie prvej automatickej parnej elektrárne,
 1917 – dokončená stavba prvej automatickej hydroelektrárne,
 1928 – v automobilovom priemysle sa pri výrobe automobilových rámov začína uplatňovať plne automatizovaná výroba,
 1954 – nastupuje rozvinutá automatizácia predovšetkým v automobilovom priemysle,
 1956 – použité prvé stroje s programovým riadením,
 1962 – realizovaná automatizovaná bloková valcovňa diaľkovo ovládaná a riadená počítačmi a priemyslovou televíziou,
 1970 – prvá automatická sonda pristala na Mesiaci a vrátila sa na Zem....

.....

Automatická činnosť výrobných strojov, zariadení a systémov nie je možná bez automatickej manipulácie. K tomu sú potrebné priemyselné roboty. Pojem robot sa prevzal z poviedky K.Čapka R.U.R. – Rossum's Universal Robots, ktorú napísal v roku 1920. V 1941 Isaac Asimov použil pojem robotika a predpovedal rast výkonného robotického priemyslu. V roku 1942 sformuloval tri zákony robotiky, ktoré zakotvujú prioritu človeka pred predpokladanými super inteligentnými robotmi:

- Robot nesmie ublížiť človeku alebo svojou činnosťou pripustiť, aby sa človeku ublížilo.
- Robot musí poslúchať príkazy človeka okrem prípadu, keď tieto príkazy sú v rozpore s prvým zákonom.
- Robot musí chrániť sám seba pred zničením okrem prípadov, keď je táto ochrana v rozpore s prvým a druhým zákonom.

Prvé konštrukcie robotov, ktoré zodpovedajú dnešným koncepciám, vznikali po roku 1954. V roku 1956 George Devol a Joseph Engelberger založili prvú firmu orientovanú na roboty – UNIMATE. V 1961 bol nasadený prvý robot v General Motors. V roku 2000 sa uvádzalo, že „populácia“ robotov vo svete je okolo 1,000.000 kusov. Najväčší počet je nasadený v Japonsku.

Známou osobnosťou spojenou s robotikou je Wolfgang Kempelen, rodák z Bratislavy. K jeho najznámejším dielam patrili hovoriaci automat (1778) a šachový automat, podľa zachovaných údajov o konštrukcii, predchodca telerobota s biotechnickým riadením.

Za prvého významného slovenského vedca v oblasti automatizácie možno označiť prof. Aurela Stodolu, ktorý pôsobil na univerzite v Zürichu. A. Stodola sa narodil v L. Mikuláši. Je zakladateľom teórie nepriamych regulátorov. Až do vydania jeho prvých prác v roku 1893-4 sa na reguláciu parných strojov používali priame regulátory Wattove. Ako prvý skúmal linearizovaný regulačný obvod. Prítom vyriešil problém stability systému s regulátorom.

¹Vzdelávanie v oblasti automatického riadenia

Z krátkeho historického úvodu možno vidieť, že teória automatického riadenia sa dlho vyvíjala ako súčasť rôznych špeciálnych oblastí vedy a techniky. Ak by sme sa vrátili späť po 18. storočie, zistíme, že ťažiskom aplikácií bolo vtedy riadenie rôznych parných strojov a mechanizmov (Wattov regulátor pary, pohony kormidiel lodí, valcovacie stolice v oceliarstve, automatická navigácia lodí). Koncom 19. storočia pribúdajú aplikácie v oblasti elektrotechniky a elektroenergetiky (stabilizácia elektrického oblúka, riadenie kotlov na výrobu pary pre elektrárne, riadenie parných turbín poháňajúcich generátory), riadenie

¹ Podľa Kheir,N.A., Åström,K.J., Auslander,D., Cheok,K.C., Franklin,G.F., Masten,M. and M.Rabins (1996). Control systems engineering education. *Automatica* 32, No.2,147-166.

generátorov elektrickej energie (zabezpečenie konštantného napätia, prúdu alebo frekvencie). V medzivojnovom období 20. storočia pribúdali aplikácie v oblasti chémie a technologických procesov (fluidné – pneumatiké PID regulátory). Začiatok 2. svetovej vojny priniesol nové aplikácie v riadení protiletadlovej obrany (vyhodnocovanie polohy cieľa rádiolokátormi a riadenie palby protiletadlových batérií) a riadenie palby palubných leteckých zbraní (servomechanizmy). Postupne pribúdali ďalšie aplikácie z oblasti letectva (autopilot) a riadenia raketových striel (optimálne riadenie). V povojnovom období potom prišiel prudký rozmach riadenia technologických a výrobných procesov a číslicového riadenia.

Tento vývoj sa dodnes odráža na univerzitetnej výučbe automatického riadenia, keď ho najčastejšie nájdeme ako súčasť inžinierskeho vzdelávania v oblasti elektrického, strojného, chemického, lodného a leteckého inžinierstva a v oblasti počítačov. Takéto začlenenie je celkom logické, lebo nutnou súčasťou prípravy inžinierov pre úlohy automatického riadenia je zvládnutie technológie, ktorú treba riadiť (fyzikálnej, resp. chemickej podstaty riadených procesov) a zvládnutie základných špecifik riadenia (simulácie, identifikácie) dynamických systémov. Dnes k týmto dvom základným zložkám výučby inžinierov pre oblasť automatického riadenia pristupuje ďalšia a to zvládnutie základov informatiky (získavania, spracovania, triedenia, využívania, uskladnenia a manažovania informácií).

Popri typicky technických aplikáciách automatického riadenia sú aj hodne staré netechnické aplikácie v poľnohospodárstve a potravinárstve (zavlažovanie, resp. odvodňovanie polí, umelé liahne, regulácia vzdialenosti mlynských kameňov). Pribúdajú aplikácie v oblasti biologických a medicínskych systémov, v ekonomike a manažmente a v iných netechnických oblastiach. Pri neustále rastúcom spektre možných aplikácií automatického riadenia dochádzame nutne k záveru, že vo všeobecnosti nie je možné pripraviť absolventa univerzity presne podľa požiadaviek budúceho zamestnávateľa a treba preto počítať s určitým obdobím na jeho zácvič v praxi. Aké sú ale ďalšie požiadavky praxe?

V najstarších spoločnostiach bolo základom vzdelávania pozorovanie starších pri výkone činností potrebných na prežitie skupiny. V stredoveku sa vyvinul spôsob vzdelávania založený na učňovskom vzťahu študenta k svojmu majstrovi – vzoru na výkon jednotlivých činností. Tento systém nebol schopný prežiť v období priemyselnej revolúcie, lebo bol príliš strnulý s ohľadom na potreby vznikajúce zvýšeným tempom vývoja. Dnes je potreba pružnosti vzdelávacieho systému ešte väčšia. Pretože priemysel je kriticky závislý na úrovni pracovnej sily, priemysel aj inžinieri majú spoločný záujem na zvyšovaní kvality univerzitného vzdelávania. To musí hľadať zdravý pomer medzi stupňom ovládania existujúcich vedomostí a zručností a medzi rozvíjaním tvorivosti a schopnosti nadobúdať nové vedomosti a zručnosti.

Zmeny pracovného prostredia inžinierov

S rozvojom techniky sa mení aj „kultúra“ firiem a tieto zmeny vplyvajú na zmeny požiadaviek priemyslu na charakteristiky inžinierov. Tieto kultúrne zmeny postihujú viacero aspektov:

- Zmeny na trhu. Boli časy, keď sa firmy sústreďovali hlavne na domáci trh. Dnes sa prehľbuje globalizácia trhu vo všetkých oblastiach.
- Firemné priority. Aj dnes je dôležitým cieľom prežitia firmy dosiahnutie zisku. Z dlhodobého hľadiska sa však hlavným cieľom musí stať zákazník. Požiadavky zákazníkov nútia firmy zavádzať zložitejšie systémy riadenia svojich technológií a produkcie.
- Kvalita. Základnou zložkou dnešných produktov a služieb je kvalita a spoľahlivosť.
- Čas a peniaze. V minulosti boli zvyčajne najúspešnejšie firmy, ktoré dosahovali najnižšie náklady. Riadenie nákladov zostáva dôležité aj dnes. Dĺžka produktívneho

životného cyklu mnohých produktov sa však dnes skraca na mesiace. Skrátene doby uvedenia na trh a včasné uvedenie na trh sú dnes základom úspechu.

- Produkcia. Masová produkcia pomocou výrobných liniek dnes poskytuje priestor aj menším výrobcam, od ktorých sa vyžaduje dostatočná pružnosť a schopnosť dodávať produkty a služby v požadovaných termínoch.

Tieto základné zmeny sa samozrejme týkajú aj inžinierov, ktorých úlohou bude navrhovať, vyvíjať a zostrojovať priemyselné produkty.

- Tímová práca. Predošlé generácie inžinierov pracovali zväčša individuálne. Trendom do budúcnosti sa ukazuje práca v tímoch. Tieto budú multifunkčné, zostavené zo zástupcov všetkých disciplín potrebných na realizáciu danej úlohy.
- Kultúrna diverzita. Inžinieri musia byť vychovávaní pre pracoviská s väčšou etnickou diverzitou. Okrem väčšej diverzity daného pracoviska tiež treba počítať s väčšou geografickou disperziou aktivít danej firmy.
- Očakávania pracovníkov. Základnou požiadavkou predošlých generácií pracovníkov bola stabilita zamestnania. Inžinieri nezriedka strávili u jedného zamestnávateľa celý život. Dnes menia mnohí zamestnanci svojho zamestnávateľa každých 4 až 5 rokov. Údaje z USA naznačujú, že na prelome tisícročia je až 43% pracovníkov v špeciálnych pomeroch (čiastočný úväzok, práca doma, živnostníci, viaceré zamestnania). V r.1970 ich bolo len 29%.
- Produktivita. V posledných desaťročiach dramaticky vzrástla (automatizáciou, používaním počítačov) produktivita výroby. Do budúcnosti sa očakáva rast produkcie hlavne v oblasti inžinierskej práce. Životný cyklus vývoja produktu sa má výrazne skrátiť.

Zručnosti vyhl'adávané firmami

Nová generácia inžinierov bude charakterizovaná jediným slovom: zmena. Zmeny sa už prejavujú v mnohých priemyselných oblastiach. Ich dopady sú dramatické.

Priemysel očakáva od vzdelávacích inštitúcií, že budú študentom poskytovať technické základy, ktoré im umožnia byť na úrovni doby a zachovať si konkurencieschopnosť v stále sa meniacom globálnom trhu. Početné výskumy ukazujú, že dnešní absolventi univerzít majú vysoké kvality, no chýbajú im praktické skúsenosti, zručnosti v medzil'udských vzťahoch a základné porozumenie obchodných perspektív presahujúcich ich základnú špecializáciu. Z priemyslu prichádzajú požiadavky zlepšiť praktické aj teoretické zručnosti inžinierov.

Hoci existuje veľa pracovných zručností a postojov, z ktorých profituje každý inžinier, inžinieri z oblasti automatického riadenia sú v niektorých ohľadoch zvýhodnení: aplikácie automatického riadenia sú svojim charakterom mnohostranné – riadenie dopravných prostriedkov, výrobných procesov, automatizácia, riadenie životného prostredia, ekonomické systémy, medicínske a biologické aplikácie atď. Absolventi automatického riadenia sú teda dobre pripravení na nový stále sa meniaci svet – nie sú úzki špecialisti.

V poslednom období prebehol medzinárodný prieskum u viacerých firiem, ktoré zamestnávajú veľké počty inžinierov z oblasti automatického riadenia. Jeho cieľom bolo získať informácie o čerstvých absolventoch univerzít. Výsledky sú zhrnuté v Tab.1.

Noví absolventi sú zvyčajne poverení úlohami analýzy a simulácie. Analytické a počítačové zručnosti patria k silným stránkam súčasných absolventov. Hoci všeobecné výskumy pripravenosti inžinierov poukazujú na nedostatočné praktické zručnosti inžinierov, neplatí to nevyhnutne práve v oblasti automatického riadenia. V tejto oblasti sa tradične pripisuje veľká dôležitosť laboratórnym cvičeniam, takže mnohí absolventi už základné zručnosti ovládajú a zvýšili si ich dopĺňajú dostatočne rýchlo. Všeobecné vedomosti z oblasti automatického

riadenia sú zvyčajne dostatočne dobré. Priemysel však väčšinou vyžaduje aj špecifické vedomosti a zručnosti, takže je potrebné náležite zapracovanie nových absolventov.

V predošlých prieskumoch sa zvyčajne ukazoval konflikt medzi „modernými“ vedomosťami absolventov a „klasickými“ požiadavkami praxe. Tieto klasické prístupy síce ešte stále dominujú, je však už badať aj evidentný posun v prospech moderných postupov. Napriek tomu možno odporučiť vzdelávanie zahrňujúce klasické aj moderné prístupy. Očakávania praxe pre blízku budúcnosť naznačujú potrebu vzdelávania v oblasti inteligentného riadenia, identifikácie, učiacich sa systémov, CAD, CAP, CAM, CIM systémov a riadenia v reálnom čase.

| Vlastnosť | Hodnotenie | Komentár |
|--------------------------|----------------|--|
| Všeobecné poznatky | A ⁺ | Podstatne zlepšené. PhD štúdium je príliš špecializované. |
| Príprava na zamestnanie | A ⁻ | Stále je vyžadované zapracovanie v konkrétnej funkcii. |
| Profil absolventa | A | Dobré pokrytie klasických aj moderných prístupov. 70-90% postupov v praxi tvoria klasické metódy. Moderné metódy sa uplatňujú skôr vo výskume. Zreteľné sú však trendy k moderným metódam. |
| Laboratória | B ⁻ | Potreba bohatších laboratórnych skúseností. Profesori by mali viac riešiť reálne problémy. Väčšina študentov ovláda analytické nástroje požadované praxou. |
| Praktické skúsenosti | B ⁻ | Úvodné reakcie niektorých sú neadekvátne, no väčšinou sa rýchlo zapracujú. |
| Medziľudské vzťahy | C ⁺ | Široký rozptyl. Niektorí rozumejú potrebu tímovej práce, no mnohí nie. |
| Rozvoj kariéry | B | Väčšina absolventov chápe potrebu ďalšieho vzdelávania a je aktívna v tomto smere. Počas vzdelávania v oblasti automatického riadenia je 5-12 rokov. |
| Silná stránka | | Analytické a počítačové zručnosti, teoretické vedomosti, entuziazmus a záujem. |
| Najväčšie sklamanie | | Len málo absolventov chápe očakávania priemyselnej praxe. Mnohí sú sklamaní malou aplikovateľnosťou teoretických vedomostí. |
| Najdôležitejšie poznatky | | Implementácia, spracovanie signálov, simulácia, štatistika, identifikácia, inteligentné riadenie (potreba „bystrých“ inžinierov, ktorí vedú riadiť, nie „riadiacich“ inžinierov). |

História automatizácie na Slovensku je bohatá. Výrazný rozvoj nastal v čase budovania priemyslu na Slovensku. Vznikli vedecké pracoviská, výskumné ústavy, výrobné podniky. Vzhľadom na význam pre prax sa automatizácia vyučuje na všetkých univerzitách, kde sú študované výrobné a technologické procesy. Význam automatizácie a využitie jej princípov je veľmi široký a preto v rôznej forme je potrebné poskytnúť základné poznatky aj študentom odborov, ktoré nesúvisia s uvedenými odbormi.

Materiál, ktorý čítate je prípravou na štúdium automatizácie, teda je určený pre prvý stupeň vysokoškolského vzdelávania ako úvodná informácia pre študentov. Vzhľadom na rozsah výučby predmetu ide pritom len o základné otázky odboru. Zámerom je objasniť obsah základných pojmov z oblasti automatizácie. Okrem toho sú tu naznačené i základné

koncepčné otázky automatizácie. Ich pochopenie spolu s osvojením si základných pojmov vytvorí základnú štruktúru pre zatriedenie poznatkov a tým podporí kvalitnejšie a trvalejšie osvojenie si obsahu štúdia odboru. Nie je cieľom venovať sa problematike do takej hĺbky, aby sa získali znalosti o analýze a syntéze systémov, ani o ich nasadzovaní, prípadne prevádzke. K tomu je potrebné študovať predmety odboru. Tento materiál by to mal však uľahčiť.

Študijné plány odboru sú zostavené tak, že poskytujú všeobecné vzdelanie v základoch technických vied, vzdelanie v teoretickom základe odboru, hardverových a softverových prostriedkoch automatizácie a nutných základoch technológií, ktoré sa môžu automatizovať.

1 Úvod

Človek ovplyvňuje svoje okolie a stále častejšie vytvára „umelý svet“. Vtedy je nevyhnutné „realizovať“ zákony riadenia SVETA automaticky pracujúcimi technickými prostriedkami. Už dnes je skutočnosťou, že riadiace systémy sú v celej spoločnosti (doprava, energetika, lekárske prístroje, komunikácie, administratíva, letectvo, chemické továrne, výrobné podniky, laboratórne zariadenia,...), ak zlyhajú zlyhá celý systém. Automatizácia je vo všetkých odvetviach a každé odvetvie profituje z rozvoja systémov automatizácie.

Automatizácia je univerzálna a jedna z najdôležitejších oblastí poznania v technických vedách. Jej princípy sa uplatňujú vo všetkých technických systémoch. Vzhľadom na to, že garantujú objektivitu riadenia systémov tak sa tieto princípy uplatňujú aj mimo technických systémov. Automatizácia umožňuje výrobcovi obstať vo svetovej konkurencii.

V automatizácii sa uplatňujú princípy a metódy kybernetiky. Automatická regulácia sa ale používa dlhšie, než vznikol pojem kybernetika s tým obsahom, ako sa používa dnes.

Pojem **kybernetika** pochádza z gréckeho slova kybernetes – kormidelník. V roku 1834 použil termín kybernetika A.M.Ampère ako názov pre vednú disciplínu, ktorá sa zaoberá riadením spoločnosti. **Norbert Wiener** v knihe *Cybernetics: or Control and Communication in Animal and Machine*, (1948). (preklad *Kybernetika neboli řízení a sdělování v živých organismech a strojích*, SNTL 1960) **definoval kybernetiku ako vedu o všeobecných zákonoch získania, prenosu a spracovania informácie v zložitých systémoch a o všeobecných zákonoch riadenia týchto systémov.** Predmetom skúmania kybernetiky sú zložité systémy alebo procesy. Preto je jej neoddeliteľnou súčasťou všeobecná teória systémov. Medzi **základné pojmy kybernetiky** patria termíny: systém, informácia, okolie systému, čierna skrinka, spätná väzba, algoritmus, entropia, varieta. Jedným zo základných princípov, z ktorých vychádzal Wiener, je funkčná podobnosť medzi strojmi a živými organizmami [3]. Základným prínosom kybernetiky je spojenie procesu riadenia a organizácie systémov s pojmom informatizácie.

1.1 Najdôležitejšie princípy kybernetiky

1.1.1 Spätná väzba

Princíp spätnej väzby je používaný dlhú dobu. Najznámejšie použitie z histórie je snád' v odstredivom regulátore J.Watta. Prvý matematický opis je od J.C.Maxwella. Zakladatelia kybernetiky si uvedomili, že mnohé deje v živých organizmoch možno chápať ako deje v spätoväzobných systémoch. Princíp spätnej väzby nie je obmedzený len na technické a biologické systémy. Možno ho registrovať vo vedách o živote, v astronómii, geológii. Aplikuje sa v psychológii, ekonómii, politológii i práve.

1.1.2 Informácia

Snaha zmerať množstvo informácií bola vyvolaná potrebou oznamovacej techniky nájsť objektívne merítka pre porovnanie efektívnosti prenosu správ rôznymi spojovacími kanálmi. Ukázalo sa, že množstvo informácie zodpovedá množstvu odstránenej neurčitosti. Neurčitosť bolo možné opísať pravdepodobnostnými metódami, preto exaktná teória informácie vznikla ako časť teórie pravdepodobnosti. Neskôr sa objavil nový prístup. Informáciu nemožno ani zaznamenať ani preniesť bez spotreby energie. Informácia doplnila fyzikálny obraz sveta v tom zmysle, že ide o rovnako dôležitú entitu ako je hmota a energia. Pre opis sveta je

potrebné poznať ako je rozložená hmota a energia v priestore a čase, čo je charakterizované informáciou.

Informácia je najfrekvencovanejším pojmom, ktorý priniesla kybernetika. Spracovanie informácií sa stáva stále dôležitejším. Spoločnosť vstupuje do obdobia tzv. informačnej spoločnosti.

1.1.3 Model

Pod systémom rozumieme pospájanie množiny prvkov do celku a ich vzájomné pôsobenie, pričom celok má schopnosť prenosu, uchovania a spracovania informácie.

Systematické štúdium izomorfizmov medzi rôznymi systémami viedlo k poznatku, že systémy rôznej fyzikálnej podstaty môžu mať veľmi podobné chovanie a že chovanie jedného systému možno skúmať prostredníctvom chovania iného ľahšie realizovateľného systému v iných časových alebo priestorových merítkach. Najskôr sa využívalo to, že mnohé mechanické, hydraulické, pneumatiké, tepelné atď. systémy sú opísané formálne rovnakými diferenciálnymi rovnicami ako elektrické obvody. To viedlo k vytvoreniu analógových počítačov. Postupne však boli nahradené symbolickými modelmi na číslicových počítačoch. Vďaka pokroku vo výpočtovej technike a kybernetike možno metódy modelovania použiť aj pre systémy alebo procesy, pre ktoré zatiaľ nie je známy matematický opis v tradičnej forme rovníc alebo vzťahov a pre ktoré stačí len kvalitatívny opis. O dôvere vo výsledky počítačovej simulácie svedčí i fakt, že veľmoci ustúpili od jadrových pokusov, pretože pre ďalší vývoj nukleárných zbraní plne postačuje počítačová simulácia.

1.1.4 Zákon nutnej variety

Formuloval ho v 50. rokoch W.R. Ashby (je to asi jediný prírodný zákon objavený kybernetikou). Zákon hovorí, že ak sa chce pomocou riadenia odstrániť neurčitost', potom množstvo neurčitosti odstránené za jednotku času nemôže byť väčšie ako kapacita riadiaceho systému ako komunikačného kanálu. Inak povedané – pre dobré riadenie musí byť riadiaci systém v istom zmysle modelom riadeného systému. Zákon objasňuje napr. prečo je dôležitá biodiverzita aby bol ekosystém stabilný, prečo napr. sú spoločnosti, ktoré sú tolerantné k menšinám a k rôznosti názorov veľmi stabilné.

1.2 Automatizácia

1.2.1 Historické pohľady

V oblasti techniky by sme mohli pri demonštrácii potrieb ovládať dynamiku používaných systémov zájsť až do čias antického Grécka a do stredovekých čias. Vitruvius (270 pred n.l.) opísal reguláciu výšky hladiny vodných hodín. Zhruba o 3. storočia neskôr Herón z Alexandrie spomínal viacero automatov využívajúcich mechanizmus spätnej väzby. V 16. a v 17. storočí s príchodom renesancie prišiel aj rozvoj vedy a Európa znovu objavila antický svet. Automatické riadenie sa uplatňovalo hlavne pri regulácii čerpania vody do zavlažovacích a odvodňovacích kanálov, pri regulácii veterných a vodných mlynov alebo regulácii teploty v umelých liahňach (pozri napr. Mayr (1970) alebo Bennet (1996)). Nastavenie optimálnej prevádzky týchto zariadení bolo otázkou skúsenosti. Jednou z prvých výraznejších výnimiek bol problém stabilizácie činnosti parných strojov pri premenlivej záťaži, na ktorú sa od r.1789 používal známy Wattov odstredivý regulátor. Jeho dynamiku, ktorá často spôsobovala problémy, opísal vo svojej práci „On Governors“ Maxwell (1868). Ukázal v nej, že stabilitu systému opísaného lineárnymi diferenciálnymi rovnicami možno analyzovať pomocou ich koeficientov aj bez znalosti koreňov charakteristickej rovnice.

K tejto práci zvykneme datovať začiatky rozvoja novej vednej disciplíny **Teórie (dynamických) systémov**, hoci mnohé otázky modelovania a analýzy systémov sa rozvíjali už o niekoľko storočí skôr. (Pozoruhodná bola napr. analýza riadenia rýchlosti teleskopu zamiereného na nepohyblivú hviezdu, ktorú vypracoval v r.1840 Airy – pozri Fuller (1976). Airy odvodil už v r.1851 aj podmienky stability odstredivého regulátora, no zachovaná správa bola tak strohá, že nebolo možné rekonštruovať, ako k nim došiel).

Maxwellova práca odvodila nutné a postačujúce podmienky stability lineárnych systémov do 4. rádu. V r.1877 ich zovšeobecnil pre systémy ľubovoľného rádu E.J. Routh. V r.1895 dospel k rovnakému zovšeobecneniu (no iným postupom) aj švajčiarsky matematik A.Hurwitz. Môžeme byť hrdí, že k začiatkom štúdia dynamických systémov a k vzniku teórie automatického riadenia významne prispel aj náš svetovo známy rodák **Aurel Boleslav Stodola**, ktorého pokladajú za priekopníka v tejto oblasti nielen v nemecky hovoriacich krajinách a mnohí mu prikladajú celosvetový význam - pozri napr. Fasol (1996) alebo Bennet (1996). Venoval sa hlavne riadeniu vodných turbín. Zaviedol napr. pojem časovej konštanty systému a on vlastne inicializoval aj vznik jedného z najznámejších kritérií stability systémov, ktoré na jeho podnet vypracoval Hurwitz. K tomuto obdobiu sa vzťahujú aj známe práce z oblasti stability nelineárnych systémov Ljapunova, ktorý zovšeobecnil pojem stability aj pre nelineárne systémy.

Za povšimnutie stojí, že väčšina prvých prác zaoberajúcich sa dynamickými systémami súvisela s potrebou ovládania čoraz väčších tokov energie v rôznych mechanických zariadeniach (veterné mlyny, parné stroje, parné turbíny) alebo s nahradením potreby neustálej prítomnosti ľudského operátora (automatické liahne, regulácia vzdialenosti mlynských kameňov). S rozvojom lodnej dopravy a stavbou transatlantických parníkov a vojnových lodí vznikala potreba vývoja mechanizmov na riadenie polohy ich kormidiel vystavených pôsobeniu veľkých síl. Používanie ručného pohonu v spojení so silnými prevodmi príliš spomaľovalo operácie s kormidlom. A tak bol už v r.1853 patentovaný mechanizmus na riadenie polohy v otvorenej slučke (bez spätnej väzby o skutočnej polohe). Prvý mechanizmus riadenia kormidla so spätnou väzbou (v uzavretej slučke) bol patentovaný pre parník „Great Eastern“ v r.1866. V súvislosti s týmto problémom sa prvý raz objavili vďaka Francúzovi J.J.Farcotovi pojmy **servomechanizmus** a **servomotor**.

Ďalšie významné práce súviseli s potrebou udržiavania konštantnej vzdialenosti elektród v uhlíkových lampách, s vývojom gyroskopu používaného v autopilotoch na navigáciu lodí vystavených pôsobeniu poruchových veličín (E.Sperry okolo 1910) a s automatickým riadením kotlov na výrobu pary pre elektrárne, kde bolo treba regulovať výšku hladiny aj tlak pary. V r.1922 N.Minorsky prezentoval analýzu polohového riadenia, z ktorej vyplynula potreba regulátora označovaného dnes názvom **PID-regulátor**. Elektrina sa presadzovala nielen v akčných členoch ako elektromotory, solenoidy umožňujúce proporcionálne riadenie alebo elektromechanické relé, ktoré sa využili ako jednoduchý zosilňovač a viedli k vzniku reléových (dvojpolohových, angl. *on-off* alebo tiež *bang-bang*) regulácií. Elektrické signály sa čoraz viac využívali aj na prenos a spracovanie informácií.

Od r.1914 sa rozvíjali aj pneumatické regulátory. Na začiatku poskytovali prakticky dvojpolohové riadenie. Po určitých vylepšeniach okolo roku 1920 predstavoval rozsah lineárnej (proporcionálnej) činnosti stále len okolo 7% celkového rozsahu činnosti. Až okolo r. 1930 sa podarilo zavedením zápornej spätnej väzby podstatne zvýšiť rozsah lineárnej činnosti. V roku 1931 začala firma Foxboro predávať pneumatický regulátor Stabilog, ktorý umožňoval proporcionálne zosilnenie a integrálnu zložku (pôvodne nazývanú *automatic reset*). Trh na začiatku nereagoval na novú ponuku, lebo ľudia v praxi nerozumeli prínosu nového zariadenia. Až publikácia vysvetľujúceho bulletinu v r.1932 otvorila cestu tomuto PI-

regulátoru, ktorý dnes (pravda, nie už na pneumatickej ale na číslicovej báze) predstavuje až 90% všetkých priemyselných aplikácií.

Na konci 20-tych a začiatkom 30-tych rokov minulého storočia pribudli ďalšie zaujímavé práce, ktoré boli inicializované rozvojom telefónnych a rádiových spojov: Blackov vynález spätnoväzbového zosilňovača (1927) vyriešil problém zosilňovania signálu na dlhých transatlantických trasách podmorských káblov a začiatok systematického využívania princípu spätnej väzby. Nyquistovo kritérium stability (1932) a Bodeho metóda logaritmických frekvenčných charakteristík (1940) umožnili podrobnejšie analyzovať podmienky stability prenosu a spracovania telefónnych signálov a rozšírenia prenosovej šírky vedení. Čoskoro našli svoje miesto aj v návrhu regulačných obvodov.

V. Bush pracujúci v Massachusetts Institute of Technology zostrojil diferenciálny analyzátor využívajúci mechanické integrátory, ktorý možno považovať za prvý simulátor umožňujúci simulovať riešenia diferenciálnych rovníc. S jeho využitím vznikla aj prvá teoretická práca o servomechanizmoch publikovaná v r. 1934 H.L. Hazenom. Skupina z MIT, ktorú v ďalšom viedli H.L. Hazen a G.S. Brown rozvíjala najmä metódy vychádzajúce z reprezentácie systémov v časovej oblasti. Zaviedli používanie blokových schém. Možnosť simulácie systémov využili na štúdium servosystémov, pri návrhu ktorých sú dominantné viaceré nelinearity (obmedzenia momentu motora, vôľa v zuboch prevodových kolies a pod.). V rámci spolupráce s University of Manchester sa v r. 1936 postavil diferenciálny analyzátor aj v Manchestri. Jednou z najdôležitejších úloh riešených v tomto období bolo riadenie protiletadlovej strelby. Tento komplexný problém v úvode zamestnával 14 osôb, ktoré mali za úlohu určenie polohy lietadla, výpočet jeho predpokladanej budúcej polohy a zamierenie ťažkých protiletadlových batérií. V ťažkých bojoch v r. 1941 sa ukázalo, že tradičný systém spolupráce jednotlivých zložiek už nestačí na stále rastúcu rýchlosť lietadiel. Typickou systémovou vlastnosťou totiž je, že výsledné vlastnosti systému nie sú určované len vlastnosťami jeho jednotlivých zložiek ale aj spôsobom, ako tieto zložky spolupracujú medzi sebou. Vznikla potreba **systémového** riešenia, pri ktorom by bol výstup z automatického systému určovania polohy lietadiel pripojený priamo na riadenie polohy kanónov. Takto boli prinútené spolupracovať skupiny odborníkov, z ktorých jedna uprednostňovala frekvenčné metódy vyvinuté pre telekomunikačné ciele a druhá, ktorá prišla z oblasti strojárstva a servomechanizmov, zasa uprednostňovala riešenie úloh v časovej oblasti. Nový prístup využíval prednosti obidvoch. Ukázalo sa, že pomocou blokových schém a algebry prenosov sa uľahčí aj používanie Nyquistovho testu stability. Rozšírilo sa využívanie nových pojmov rezervy v amplitúde a vo fáze, vyvinutých pôvodne pre telekomunikačné ciele, používanie Nicholsových a inverzných Nyquistových diagramov atď. Vyvinutý systém pre detekciu a sledovanie lietadiel a rakiet V1 aplikovaný v južnom Anglicku sa ukázal ako vysoko úspešný.

K ďalším pozoruhodným prínosom vojnového obdobia nesporne patrí publikovanie postupu na optimálne nastavovanie PID-regulátorov J.G. Zieglerom a N.B. Nicholsom, ktoré sa v rôznych neskorších modifikáciách používajú až dodnes. Ďalším bolo publikovanie prvých ucelenejších učebníc automatického riadenia E.S. Smithom (1942) a R.C. Oldenbourgom a H. Sartoriom (1944).

Prudký rozvoj rôznych mechanizmov a prístrojov využívaných na riadenie nastolil dva závažné problémy:

- čoraz akútnejšie sa prejavoval nedostatok vedomostí o príčinách zlyhania, resp. neadekvátneho správania sa takýchto prístrojov a systémov a potreba jednotného odborného jazyka na opis riadiacich procesov a výmenu skúseností v tejto oblasti,

- potreba jednoduchých metód na analýzu a syntézu riadiacich systémov, kde jediným nástrojom zostávali stále len diferenciálne rovnice a stále nie príliš známe Routhovo-Hurwitzovo kritérium stability.

V týchto časoch sa začínal využívať na systematické riešenie diferenciálnych rovníc matematický aparát s použitím Heavisideovho operátora a Laplaceovej transformácie.

Prvé štúdium automatického riadenia sa objavilo v rámci elektrického inžinierstva v 40-tych rokoch. Vojnové roky prispeli k veľkému skoku vo vývoji techniky, ktorý však prebiehal izolovane a utajene. Väčšina výsledkov tohto obdobia sa objavila až po skončení 2. svetovej vojny, keď nastal veľký skok rozvoja automatického riadenia v rámci novoetablovanej vedy – kybernetiky.

Mohutný rozvoj teórie dynamických systémov a teórie automatického riadenia začiatkom 50-tych rokov súvisel s viacerými faktormi:

- naďalej pokračovali preteky v zbrojení, kde nové popudy prichádzali najmä z oblasti leteckej a raketovej techniky,
- rozšírili sa zdokonalené analógové počítače umožňujúce simuláciu a riešenie lineárnych aj nelineárnych systémov,
- objavili sa a začali sa využívať číslicové počítače – či už na vedecko-výskumné výpočty alebo ako riadiace počítače,
- napriek utajovaniu mnohých oblastí výskumu sa rozvinula čulá medzinárodná vedecko-technická spolupráca, ktorá začala medzinárodnými konferenciami v r.1951 (Automatic Control, 1951, Cranfield, England; Frequency Response Symposium, 1953, New York, USA) a vyvrcholila v r.1956 založením Medzinárodnej federácie automatického riadenia (International Federation of Automatic Control, IFAC) a v r. 1960 prvým svetovým kongresom v Moskve.

Začiatok 50-tych rokov priniesol nástup rôznych metód optimálneho riadenia. Bolo to logické vyústenie vývoja predošlých rokov: akonáhle bolo možné navrhnuť pre daný proces nejaký regulátor, prišla otázka, ktorý regulátor bude najlepší. Vývoj, ktorý začal v Sovietskom zväze okolo r.1947 formuláciou Fel'dbaumovho princípu o n -intervaloch optimálneho riadenia, vyvrcholil v r.1956 Pontrjaginovým princípom maxima. V tom istom čase formuloval v USA R.Bellman princíp optimality a metódu dynamického programovania. N.Wiener, ktorý je pokladaný za zakladateľa kybernetiky, prispel k štúdiu stochastických systémov.

Simulačné možnosti začiatku 50-tych rokov možno ilustrovať príkladom veľkého analógového počítača TRIDAC (*Tridimensional Analog Computer*). Postavili ho pre Kráľovské letectvo (*Royal Aircraft Establishment*) v Anglicku v rokoch 1950-54 z elektronických, hydraulických a mechanických komponentov. Zaberá celú budovu a jeho príkon bol 600kW. Z toho spotrebovala elektronická časť pozostávajúca z vyše 8000 elektróniek vyše 200kW. Toto zariadenie s cenou vyše 20 mil. libier, pri ktorého otvorení nechýbala kráľovská delegácia, nemalo vyšší výpočtový výkon ako dnešné PC so štandardným simulačným programom.

Odvtedy vznikol celý arzenál rôznych metód umožňujúcich skúmanie dynamických systémov a dosahovanie ich požadovanej dynamiky. Na prvom svetovom kongrese IFAC v Moskve odznelo viacero príspevkov, ktoré vytýčili smer ďalšieho rozvoja. R.E.Kalman prezentoval princíp duality medzi úlohami spätnoväzbového riadenia a filtrácie a koncepty pozorovateľnosti a riaditeľnosti. V súvislosti s používaním číslicových počítačov nastal rozvoj stavovej teórie optimálneho riadenia. Dôraz na optimálne riadenie bol zhruba od 70-tych rokov postupne vystriedaný snahou o dosiahnutie robustnosti pri zmenách parametrov procesov a pôsobiacich porúch.

Rôzne nelinearity dynamických systémov zamestnávali návrhárov prakticky od začiatkov tejto disciplíny. Ako prvú z nelineárnych metód možno spomenúť metódu fázovej roviny, ktorej základy položil svojou prácou Poincaré (1892).

Číslicové počítače v automatickom riadení

Keď dnes niekto povie „diskrétny systém“, väčšinou ním myslí „číslcový“, resp. „digitálny systém“. História diskrétnych systémov je však podstatne dlhšia a bohatšia ako len história digitálnych systémov. Nebudeme tu podrobne rozoberať vývoj ekonomických systémov, v ktorých sa množstvo informácií vyhodnocuje a prenáša len v určitých diskrétnych okamihoch, či už denne, týždenne, mesačne, ročne, atď. Množstvo prvkov diskrétnych systémov možno napr. nájsť aj v numerickej matematike pri iteračnom riešení rôznych problémov (napr. nelineárnych rovníc). Zameriame sa skôr na aplikácie v riadení a pri prenose a spracovaní signálov.

Už v medzivojnovom období sa využívali špeciálne elektromechanické regulátory (tzv. padáčkový regulátor), pri ktorých sa akčný zásah vyhodnocoval elektromechanickým zariadením v pravidelne sa opakujúcich okamihoch. Pri riadení sústav s veľkými oneskoreniami (napr. pri regulácii teploty budov) zabezpečovali takéto regulátory vyššiu kvalitu regulácie ako klasické spojité regulátory. A tak sa rozboru dynamiky diskrétnych regulácií venovala už prvá systematická učebnica z oblasti teórie automatického riadenia Oldenbourg a Sartorius (1944).

Ďalším typickým predstaviteľom diskrétnych systémov boli rádiolokátory, ktorých rozvoj tiež možno datovať do obdobia druhej svetovej vojny. Pri týchto diskrétnych systémoch je základná perióda vzorkovania signálov zvyčajne daná jednou otáčkou antény.

Éra skutočne digitálnych systémov prišla až začiatkom 50-tych rokov. Ako prvé to boli opäť vojenské aplikácie pri riadení rakiet a lietadiel. Nešlo ešte o uplatnenie univerzálnych číslicových počítačov, ktoré boli v tom čase priveľké, nespoľahlivé a náročné na spotrebu, ale o jednocelové počítače, tzv. číslicové diferenciálne analyzátory (angl. *Digital Differential Analyzer* – DDA).

Prvé systematické využitie číslicových počítačov na riadenie procesov sa začalo pripravovať v r. 1956, keď firma Thomson Ramo Woolridge (TRW) v spolupráci s firmou Texaco rozpracovali štúdiu o ich nasadení na riadenie polymerizačnej jednotky v rafinérii v Port Arthure v Texase. Samotný systém bol spustený v r. 1959 a riadil **žiadané hodnoty regulačných slučiek** pre riadenie 26 prietokov, 72 teplôt, 3 tlaky a 3 kompozície. S ohľadom na nespoľahlivosť vtedajších počítačov však regulačné slučky boli postavené ešte na báze analógových regulátorov. Do r.1961 bolo zavedených 37 takýchto systémov, o rok neskôr však už 159.

Zásadný odklon od tejto prvotnej koncepcie využívania číslicových počítačov sa datuje do r. 1962, keď anglická firma ICI (*Imperial Chemical Industries*) nahradila všetky spojité regulátory jediným číslicovým počítačom značky Ferranti August. Počítač meral 224 premenných a priamo riadil 129 ventilov. Dôvodov pre zavedenie nového konceptu riadenia nazývaného **priame číslicové riadenie** (angl. *Direct Digital Control*, DDC) bolo niekoľko: **nižšia cena, flexibilita, nové funkčné možnosti**, atď. Na Slovensku bol reprezentantom tejto epochy vývoja riadiaci počítač RPP-16 vyvinutý začiatkom 70-tych rokov.

Ďalšiu etapu vývoja a využitia počítačov v riadení možno charakterizovať ako **obdobie minipočítačov**. Vďaka technologickému pokroku sa rozmery počítačov zmenšovali, zvyšovala sa ich rýchlosť a spoľahlivosť a klesala aj ich cena (okolo 10 000 USD v r. 1975). Vďaka tomu ich bolo možné používať v rastúcom počte aj na riadenie menších procesov.

Zatiaľ čo v r. 1970 sa vo svete udávalo nasadenie okolo 5000 riadiacich počítačov, v r. 1975 ich malo byť už desaťnásobne viac.

Ďalší rozvoj v technologickej základni viedol v 80-tych rokoch k ére **mikropočítačov**. Revolučný pokles rozmerov a ceny pri náraste výpočtových výkonov sa premietol tým, že cena dosky mikropočítača s parametrami minipočítača z r. 1975 klesla v r. 1980 na 1/20 pôvodnej ceny (500 USD). To umožňovalo nasadenie mikropočítačov aj na riadenie samostatných regulačných slučiek.

S poklesom cien digitálnych obvodov prišlo ich masové využívanie aj v ďalších oblastiach života. Dnes je využitie diskretných obvodov v riadení, v komunikačnej technike a v spracovaní signálov štandardom a zasiahlo už aj také sektory ako je spotrebiteľská elektronika. Digitálne pracujúce systémy možno nájsť skoro všade: v telefónoch, CD-prehrávačoch, v automobiloch, fotoaparátoch, v automatických vrátnikoch, atď.

Automatizácia je spôsob riadenia výroby a spracovania informácií na jej riadenie, spôsob riadenia administratívnych prác. Je to najúčinnější prostriedok zvyšovania produktivity práce. Spojená je s používaním výpočtovej a regulačnej techniky, elektroniky a kybernetiky. Umožňuje stabilný a bezpečný chod procesov, ktoré by inak nebolo možné vôbec realizovať. Automatizácia je proces, v ktorom fyzickú a duševnú činnosť človeka postupne nahrádza činnosť technických prostriedkov.

Automatizácia podmieňuje rast produktivity práce nielen tým, že oslobodzuje človeka od úloh riadenia strojov, ale umožňuje, aby bol riadený celý komplex strojov a riadenie nebolo viazané na schopnosti ľudí. Automatizácia má mnoho aspektov, ktorými sa treba zaoberať, ak má priniesť želané výsledky. Prvým charakteristickým znakom je, že automatizačnú techniku nemožno úspešne aplikovať bez dokonalej znalosti teórie. Druhou podmienkou uplatnenia automatizácie je jej prístrojová základňa, ktorá má zásadný vplyv na technickú úroveň automatizovanej výroby. Na uplatnenie automatizácie v praxi má vplyv predovšetkým ekonomická stránka, ekonomický efekt zo zavedenia automatizácie.

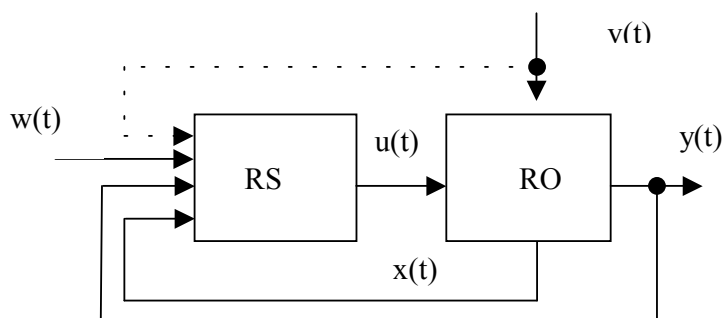
Riadenie je cieľavedomá činnosť, pri ktorej sa hodnotia, spracovávajú informácie o riadenom systéme (objekte) alebo procese a informácie o dejoch mimo tohto procesu [1]. Charakteristickým znakom riadenia je účelové pôsobenie nadradeného člena na podradený na dosiahnutie predpísaného cieľa. Ak sa riadenie uskutočňuje samočinne nejakým zariadením alebo systémom, hovorí sa o automatickom riadení. **Ovládanie** je druh riadenia, pri ktorom sa neporovnáva bezprostredný účinok riadenia s očakávaným výsledkom. Riadenie s použitím spätných väzieb bolo nazvané regulácia. **Automatická regulácia** je samočinné udržiavanie regulovanej veličiny na stanovených hodnotách, ktoré sú alebo konštantné alebo sa s časom menia podľa vopred zadaného zákona. Pritom sa eliminuje vplyv poruchy. Charakteristickým znakom regulácie ako špeciálneho prípadu riadenia je vyrovnávanie odchýlok regulovanej veličiny od žiadanej hodnoty. Pri tzv. **priamej regulácii** regulátor nepotrebuje pomocnú energiu, celú energiu získava z výstupného signálu regulovanej sústavy. Definícia riadenia podľa normy STN 010170 je:

- riadenie je spoločný názov pre ovládanie a reguláciu,
- ovládanie je riadenie bez spätnej kontroly meraním,
- regulácia je udržiavanie hodnôt regulovanej veličiny podľa zadaných podmienok a hodnôt tejto veličiny zistených meraním.

1.2.2 Systémy automatického riadenia

Systémy automatického riadenia delíme na **otvorené** a **uzatvorené**. V otvorených systémoch je vektor riadiacej veličiny zadaný a nie je ovplyvňovaný hodnotami riadenej veličiny.

V uzatvorených systémoch sa vektor riadiacej veličiny vytvára v priamej závislosti na riadenej veličine.



Obr.1.1. Systém automatického riadenia

Riadený objekt RO je nutné riadiť, pričom $u(t)$ je vektor riadiacich veličín, $y(t)$ je vektor výstupných veličín, $x(t)$ je stavový vektor. Pri opise vlastností riadeného objektu sa abstrahuje od jeho konkrétnych fyzikálnych vlastností a vytvára sa abstraktný model reálneho objektu. Riadiaci systém RS je fyzikálna realizácia algoritmu riadenia. Je to fyzikálne zariadenie, ktoré generuje riadiace signály. Vektor $w(t)$ je vektor žiadaných hodnôt, $v(t)$ je vektor poruchových signálov. Väzba do riadiaceho systému je od stavových veličín a môže byť aj od poruchových veličín.

Automatické riadenie zahŕňa napr. adaptáciu, učenie, automatický výber najlepších režimov,... Regulácia sa chápe ako časť úlohy riadenia. Regulačné obvody sú ako v živých tak v neživých systémoch. Uvedme pár príkladov riadiacich a riadených systémov, ktoré môžu ozrejmiť rôznorodosť úloh. Regulačným zásahom udržiavaná teplota žehličky, výška hladiny v nádobách, teplota vody vo vykurovacom systéme, frekvencia napätia siete, veľkosť obrazu na televíznom prijímači, veľkosť napätia počítačového zdroja a pod. Ako riadiaci systém pracuje napr. vodič pri riadení auta, pilot pri riadení lietadla a pod. Na základe odchýlok od želaného pohybu mení veličiny, ktoré určujú rýchlosť a smer pohybu. Regulačný obvod obsahuje **regulovaný systém**, **meracie členy** na automatické získanie informácie o skutočnom stave systému, **regulátor** (regulátory), ktoré na základe regulačnej odchýlky nastavujú akčné veličiny a tým regulujú systém.

Cieľ riadenia je tvorený súborom požiadaviek kladených na chovanie automatického systému v procese riadenia. Ak sa dosahuje cieľ v danej situácii najlepším možným spôsobom hovoríme o optimálnom riadení.

Riadiace obvody môžu obsahovať lineárne a nelineárne členy. Lineárnymi sú tie, ktorých činnosť môže byť opísaná lineárnymi diferenciálnymi rovnicami. Nelineárnymi členmi sú tie, ktorých činnosť nemožno opísať spôsobom uvedeným pre lineárne systémy.

Procesy, ktoré prebiehajú v systémoch môžu byť spojité alebo diskrétny. Spojité procesy sú opísané diferenciálnymi rovnicami, diskrétny procesy diferenčnými rovnicami. Iné delenie hovorí o **spojitých systémoch** a **udalostných systémoch**. Príkladom spojitého procesu je napr. chemický proces, proces zohrievania kvapaliny, procesy v nádržiach s kvapalinou apod. Udalostné systémy sú napr. procesy pri obsluhu strojov, montáž, kontrola kvality produkcie, balenia výrobkov a pod. **Hybridné procesy** tvoria spojité aj udalostné systémy. Vnútorne, vstupné i výstupné signály procesu môžu byť ako spojité tak diskrétny. Vo veľmi veľa systémoch sa menia vlastnosti spojitých procesov na základe diskrétny zmeny – udalostí. Uvádza sa napr., že vlastnosti vrtuľníka sú iné pri lete na jednom mieste, pri lete nízkou

rýchlosťou a pri lete vysokou rýchlosťou. Aj vyslovene spojité procesy, napr. chemické menia svoje vlastnosti v dôsledku udalostí – mení sa ich matematický model. Osobitnými udalosťami sú kritické stavy systému.

Procesy prebiehajúce v systéme automatického riadenia môžu byť buď **deterministické** alebo **stochastické**. Procesy, pri ktorých znalosť ich chovania v nejakom časovom intervale umožňuje celkom určiť ich chovanie aj mimo tohto intervalu, voláme deterministické. Ak umožňuje znalosť chovania procesov v nejakom časovom intervale určiť len pravdepodobnostné charakteristiky týchto systémov mimo tohto časového intervalu nazývame také systémy stochastické.

Lineárna analýza automatických regulačných obvodov spočíva prevažne vo vyjadrení dynamiky obvodov lineárnymi diferenciálnymi rovnicami s konštantnými koeficientmi a v riešení týchto rovníc. Pomerne veľa regulačných obvodov môže byť v prvom priblížení riešených ako lineárne procesy.

Syntéza obvodov spočíva v určení parametrov členov obvodu tak, aby sa dosiahla želaná kvalita procesov. Pri syntéze sa určujú parametre tých členov systému, ktoré možno meniť – regulátorov a korekčných členov.

Aplikačné oblasti automatizácie sú veľmi široké. Súčasnú potrebu, možnosti riešenia úloh a využitia existujúcich výsledkov výskumu sú napr. v oblastiach:

- systémy riadenia v energetike (energetický systém, kotle, turbíny, budenie generátorov, kogeneračné jednotky....),
- systémy riadenia obrábacích strojov a diskretných technológií (NC, CNC stroje, pružné výrobné systémy, drevársky priemysel, sklársky priemysel,...),
- systémy riadenia spojitých výrob (chémia, papierenský priemysel, gumárenský priemysel, farmaceutický priemysel, hutnícky priemysel....),
- systémy riadenia dopravy (cestná, železničná, letecká, plynovod, ropovod,...),
- systémy riadenia budov (vykurovanie, klimatizácia, zabezpečenie budov, osvetlenie, prevádzka výtáhov,),
- prístrojová technika (meranie, testovanie, diagnostika, laboratórne zariadenia,...),
- systémy riadenia v medicíne (laboratórne zariadenia na vykonávanie analýz a testov, chirurgické roboty, riadenie tomografov,...),
- riadenie elektrických spotrebičov (vykurovacie systémy, audiovizuálne zariadenia, chladničky, ručné náradie,...),
- programové systémy na analýzu a návrh riadiacich systémov (pre všetky úrovne riadenia s uvažovaním špecifických požiadaviek aplikácie)...

Je potrebné rozlišovať **automatické** a **automatizované systémy** [5]. Automatizované systémy sú také, v ktorých aspoň niektoré rozhodovacie úkony vykonáva pri normálnej prevádzke systému človek. Základnou požiadavkou na vybudovanie automatického systému riadenia je možnosť úplnej algoritmickej všetkých rozhodovacích procesov.

Analýza a syntéza systémov vyžaduje veľmi dobrú teoretickú prípravu. Nutné sú znalosti z matematiky, teórie systémov, teórie automatického riadenia, z tvorby programových systémov, z technických prostriedkov automatizácie, z príslušných noriem,.... Nie menej náročná je príprava na zabezpečenie prevádzky systémov.

Cieľom tohto materiálu je vysvetliť základné pojmy a uviesť do úloh, ktoré sa budú riešiť, vysvetliť súvislosť úloh automatizácie s inými vedami, prečo treba študovať príslušné oblasti vedy a pod.

1.3 Informatika

Kybernetika, automatizácia a informatika majú k sebe veľmi blízko. Blízkosť vyplýva z definícií predmetu skúmania a odlišnosť je v cieľoch a realizáciách.

Používa sa pojem **informačné technológie**, ktorý zahrňuje „získanie, spracovanie, uchovávanie a rozširovanie informácií vo všetkých formách (zvuková, obrazová, textová, numerická) s využitím komplexu počítačov, telekomunikácií, sietí a iných elektronických zariadení“.

Používaná **definícia informatiky** - „Interdisciplinárna veda, ktorá sa zaoberá štúdiom štruktúry, správania a interakcií socio-technických systémov založených na počítačovej technike“.

Informatika skúma podstatu informácie vo všetkých jej formách a jej súvis s poznaním. Preto sa vynára potreba klasifikovať informácie, zisťovať ako sú reprezentované, uložené a spravované. Informatika potrebuje metódy klasifikácie a triedenia a zároveň vhodnú technológiu. Metódy poskytujú informačné a knihovnícke vedy a technológia je založená na počítačoch.

Literatúra:

- [1] Kubík,S., Kotek,Z., Strejc,V., Štecha,J.: Teórie automatického řízení I.1982
- [2] Kotek,Z.,Vysoký,P.,Zdráhal,Z.: Kybernetika.1990.
- [3] Wiener,N.: Můj život. Praha, 1970.
- [4] Černohorský,J., Srovnal,V.: Vliv ostatních elektrotechnických oborů a informatiky na rozvoj oboru měřicí a řídicí technika. In. Perspektivy výučby v odbore Automatizácia. FEI STU 1999, Bratislava.
- [5] Madarász,L.: Automatizované systémy riadenia. VŠT Elektrotechnická fakulta Košice, ALFA Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry 1987, Bratislava

Otázky:

- Čo skúma kybernetika?
- Aký je vzťah medzi kybernetikou, automatizáciou a informatikou?
- V akých oblastiach sa uplatní automatizácia?
- Čo je riadenie?
- Aký je rozdiel medzi automatickým a automatizovaným riadením?
- Aká je základná bloková schéma riadiaceho obvodu?
- Čo je podstatou v systémoch so spätnou väzbou?
- Aké je delenie riadiacich systémov?
- Aké procesy prebiehajú v systémoch?
- Čo sú informačné technológie?
- Aké úlohy sú riešené pri analýze systémov?
- Aké úlohy sú riešené pri syntéze systémov?

2 Automatické riadenie procesov

Cieľom tejto kapitoly je uviesť čitateľa do základných problémov automatického riadenia procesov. Na uvedených príkladoch systémov sa ozrejmi celková štruktúra systému automatického riadenia.

Správna činnosť automatického systému riadenia procesov vyžaduje teoretické znalosti pracovníkov, znalosti o technických a programových prostriedkoch ako aj znalosti o riadených procesoch. Tieto zložky poznania vyplývajú z požiadaviek projektovania a prevádzky systému.

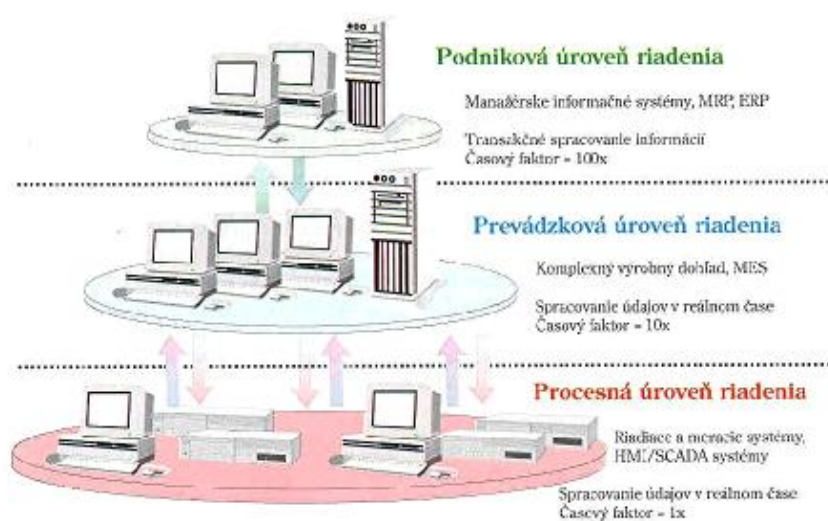
Uvádzajú sa tri stupne zdokonaľovania procesov: vybavenie pracovného procesu nástrojmi, ktoré uľahčujú prácu, mechanizácia – fyzická práca je nahradená prácou strojov, automatizácia – duševná a riadiaca práca je nahradená prácou strojov.

Automatizácia má zásadný význam pre zdokonaľovanie výrobných, ale i iných, procesov. Zásadne mení charakter práce. Pre efektívne nasadzovanie a prevádzku automatických systémov sa vyžaduje vysoká úroveň kvalifikácie pracovníkov.

Automatizácia vyžaduje vysokú úroveň meracej, regulačnej a riadiacej techniky, pričom stúpajú požiadavky na štandardizáciu komponentov. Každý systém musí obsahovať **meracie časti**, kde sa získavajú informácie o riadenom procese, **riadiace členy**, ktoré spracovávajú žiadané hodnoty a skutočné hodnoty riadených veličín a na základe toho generujú riadiaci zásah. **Výkonové členy**, ktoré upravia výkonovo riadiace zásahy tak, aby sa prechodom riadiaceho zásahu cez riadenú sústavu dosiahlo priblíženie skutočnej hodnoty riadenej veličiny k želanej hodnote.

Pre riadenie sú potrebné informácie, ako je to uvedené už v definícii kybernetiky. Zber, prenos a spracovanie informácií zabezpečujú **informačno – riadiace systémy** v automatizovaných systémoch.

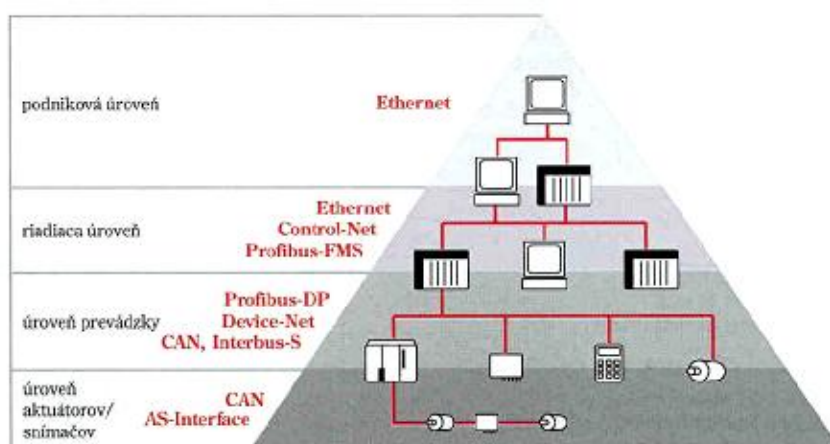
Obvykle sa proces riadenia zložitejšieho systému zobrazuje ako pyramída. Spodná úroveň pyramídy je tvorená technologickým procesom, nad ním je organizačná úroveň a horná úroveň je ekonomická. Z hľadiska prenosu informácií je riadenie v troch úrovniach vyjadrené na obr.2.1[1].



Obr. 2.1 Úrovne riadenia

Na obr.2.1. je: MRP – Manufacturing Resource Planning, ERP-Enterprise Resource Planning (plánovanie podnikových zdrojov), MES – Manufacturing Execution System (systém riadenia výroby), MIS – Management Information Systems, HMI – Human Machine Interface, SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition. Časový faktor vyjadruje možný vzťah trvania algoritmov danej úrovne k reálnemu času, inak povedané dynamiky procesov na danej úrovni.

Komunikácia medzi úrovňami je prostredníctvom zberníc a systému počítačových sietí (obr.2.2) [2]. Každá úroveň riadenia má jednoznačne stanovenú úlohu, z čoho potom vyplýva rozsah spracovávaných informácií a vzťah k reálnemu času (či ide o úlohy spojené s reálnym časom alebo o úlohy, ktoré prebiehajú voľne, nezávisle na reálnom čase). Z týchto úloh potom vyplývajú požiadavky na dynamiku spracovania informácií, na technické a programové vybavenie. Každá úroveň má špecifické vybavenie.



Obr.2.2. Komunikácia medzi úrovňami riadenia

Pri riadení procesov sa využívajú predovšetkým systémy so spätnou väzbou. Pre analýzu a návrh systémov je potrebné poznať metódy opisu ich vlastností, metódy analýzy a syntézy systémov. Na dosiahnutie čo najlepších želaných vlastností systému sa aplikujú postupy, ktoré vedú k optimálnemu riadeniu, adaptívnemu riadeniu, robustnému riadeniu a pod.

Často sa vyskytuje označenie:

CAD – Computer Aided Design – počítačom podporované navrhovanie.

CAE – Computer Aided Engineering, Systémy CAE sú orientované na analýzy, projektovanie a optimalizáciu výroby ako celku s čo najvyšším ekonomickým efektom. Významnou zložkou CAE je aj plánovanie rozdeľovania a využívania výrobných zdrojov. Ide o používanie počítačov a NC riadenia na generovanie výrobných údajov a priame riadenie výrobného procesu.

CAM – Computer Aided Manufacturing – počítačom podporované riadenie výroby.

CAD/CAM – integrácia počítačovej technológie do predvýrobných a výrobných etáp výrobného procesu.

CAQ – Computer Aided Quality Check – riadenie akosti.

CAPP – Computer Aided Process Planning – plánovanie výroby.

CAT – Computer Aided Testing – počítačom podporované meranie a testovanie.

CIM – Computer Integrated Manufacturing – počítačom integrovaná výroba. Ide o automatizáciu všetkých činností od tvorby výrobku až po jeho expedíciu (konštruovanie výrobkov, zostavenie technologických postupov, plánovanie výroby, operatívne riadenie, výroba súčiastok, inšpekcia, montáž, balenie, expedícia a pod.).

CAA – Computer Aided Assembly – počítačom podporovaná montáž.

NC – Numerical Control – číslicové riadenie strojov, na základe informácie uloženej na určitom nosiči.

CNC – Computerized Numerical Control – počítačové číslicové riadenie. Ide o riadiace systémy s riadiacim počítačom.

TQM – Total Quality Management – komplexné riadenie kvality produkcie.

2.1 Pružné výrobné systémy

Pružný výrobný systém je charakterizovaný ako integrovaný, počítačom riadený komplex zložený z NC strojov a zariadení pre automatickú manipuláciu, určený na výrobu súčiastok v malých a stredných sériách. V každom takom systéme existujú informačné toky, materiálové toky a energetické toky. Tieto toky je potrebné riadiť.

Pružný výrobný systém sa zostavuje a riadi ako celok počítačovým systémom. Orientovaný je na tzv. skupinovú technológiu.

Stratégie dosiahnutia konkurencieschopnosti a pružnej výroby si vyžadujú [3]:

- rýchle prispôsobenie sa novému výrobku,
- rýchle uspokojenie požiadaviek zákazníka,
- vysokú kvalitu,
- primeranú cenu.

Uvedené faktory tvoria celok, ktorý ovplyvňuje v konečnom dôsledku efektívnosť výroby. Jedným z rozhodujúcich smerov vývoja, ktorý vplýva na produktivitu výroby v postpriemyselnom období je naďalej automatizácia. Významnou sa pritom stáva **integrácia systémov**. Ako už bolo uvedené integrácia vyžaduje vysokú úroveň štandardizácie systémov a z hľadiska prenosu informácií zavedenie počítačových sietí.

Mimoriadne dôležité pre automatizáciu v pružnej výrobe sú dopravné a skladové systémy. V týchto systémoch sa aplikujú **priemyselné roboty**, ktoré sú tu základnými automatizačnými prostriedkami. Súčasne sa používajú priemyselné roboty viacerých generácií. Prvá generácia je určená pre technológie, v ktorých sa zabezpečuje usporiadanie predmetov v prostredí. Druhá generácia pripúšťa zmeny v prostredí, na ktoré adekvátne reaguje vďaka schopnosti adaptácie. Tretia generácia má zabudovanú umelú inteligenciu, teda môže riešiť najnáročnejšie úlohy.

Používa sa pojem **logistika**, ktorý označuje procesy pohybu tovarov a materiálov mimo priameho výrobného procesu, najčastejšie balenie, skladovanie, manipuláciu, dopravu a distribúciu, riadenie zásob a ich evidenciu a odpovedajúce informačné a riadiace systémy.

Pri **totálnej automatizácii** jednotlivé automatizačné prostriedky možno navzájom prepojiť a zahrnúť do distribuovaných systémov a tie prepojiť s podnikovými informačnými a riadiacimi systémami.

Globálna automatizácia je chápaná ako systém s neobmedzeným teritoriálnym rozmiestnením automatizačných prostriedkov, ktoré spolu navzájom komunikujú a umožňujú prístup na ich dáta alebo nastavenie z ktoréhokolvek miesta.

Inteligentné systémy riadenia využívajú umelú inteligenciu alebo technológie inteligentných systémov. V niektorých prípadoch je správnejšie použitie označenie smart („múdry“) alebo sophisticated (premyslený), na označenie takých možností systému, ktoré presahujú štandard, rozširujú jeho aplikačné možnosti, zvyšujú jeho funkčnosť a spoľahlivosť, ale nevyužívajú umelú inteligenciu.

Literatúra:

- [1] Kunsch,M.: Vertikálna integrácia informačných a riadiacich systémov – vo výrobných podnikoch. AT&P Journal.No.1.2000.
- [2] Gérer,A.: Prečo potrebujeme novú technológiu riadenia? AT&P Journal.No.10. 2001
- [3] Hajduk,M.: Pružné výrobné bunky. Vienaľa, 1998, Košice

Otázky:

- Aké sú stupne zdokonaľovania procesov?
- Aké sú členy systémov riadenia výroby?
- Aké sú predpoklady úspešnej automatizácie?
- Ako je riadený zložitý proces?
- Čo vyjadruje skratka CA..?
- Čo sa očakáva od pružných výrobných systémov?
- Aké toky sú v každej výrobe?
- Aké sú generácie robotov a čo ich charakterizuje?
- Čo je logistika?
- Čo je totálna automatizácia?
- Čo je globálna automatizácia?
- Čím sú charakterizované inteligentné systémy?

3 Základné pojmy

Cieľom tejto kapitoly je objasniť základné pojmy teórie systémov, modelovania a simulácie systémov. Po jej preštudovaní by ste mali vedieť vysvetliť, čo je to:

- *modelovanie,*
 - *simulácia,*
 - *systém,*
 - *identifikácia,*
 - *systémová analýza*
- a aké sú ich úlohy.*

3.1 Úvod

Spojité zmeny vo všetkých oblastiach života, hospodárstva, techniky a ekologických systémov sú spojené s nepretržitými tokmi hmoty, energie a informácií. So zvyšujúcimi sa technickými možnosťami sa urýchľuje aj tempo umelých zmien vyvolávaných človekom. Sťažuje sa tým kontrola prebiehajúcich dejov, narúša sa prirodzená prírodná rovnováha a vyplývajúce dopady sú čoraz vážnejšie. Vo všetkých oblastiach vedy, techniky, hospodárstva a politiky tak rastie potreba kompetentného zaobchádzania s komplexnými dynamickými systémami.

Už aj pri jednoduchých dynamických systémoch sa možno stretnúť s reakciami, ktoré nemožno predvídať ani na základe dlhodobých skúseností a ktoré možno odhaliť len dôslednou **systémovou analýzou** alebo **počítačovými simuláciami**.

Otázky modelovania a simulácie je najlepšie rozpracovaná v oblasti riadenia technických systémov. Tu možno nájsť ich miesto (pozri Balda (1978)):

- pri identifikácii riadeného systému,
- pri výbere najvhodnejšieho variantu návrhu riadiaceho systému,
- pri definícii požiadaviek na návrh nižších riadiacich úrovní,
- na výcvik riadiacich pracovníkov pre prácu s daným systémom riadenia,
- na modelové overenie riadiacich zásahov,
- na predikciu budúcich stavov riadeného systému,
- na diagnostikovanie porúch.

Všeobecnejšie sa získavaním poznatkov o budúcnosti zaoberá futuroológia a jej súčasť **prognostika**, ktorá sa zameriava na „vedecké“ predvídanie. Základnými nástrojmi prognostiky sú metódy a postupy na spresňovanie odhadu budúceho vývoja na základe poznatkov a skúseností z minulosti a na základe charakteru predpokladaných vplyvov na vývoj (Brejcha, 1978). Prognostika zahrňuje postupy na zber informácií, ich vyhodnocovanie a zvyšovanie pravdepodobnosti správneho odhadu. Nepresnosti prognostiky sú jednak dané nemožnosťou získania úplne presných informácií (objektívne obmedzenia získavania informácií) a subjektívnymi vplyvmi ľudského činiteľa. Prognostické metódy možno rozdeliť zhruba do 3 skupín:

- metódy umelej inteligencie a expertné metódy,
- matematicko-štatistické metódy,
- simulačné metódy.

Aplikácie teórie systémov a modelovania v netechnických oblastiach

Ak by sme urobili krátke zhodnotenie predošlého vývoja teórie systémov a teórie automatického riadenia, zistíme, že analytické skúmanie technických systémov je zväčša

možné na základe ich linearizácie v okolí pracovných bodov. Použitie lineárnych prístupov umožňuje aj analytické odvodenie potrebných záverov.

Hoci aj v oblasti techniky smeruje ďalší vývoj k skúmaniu zložitejších nelineárnych systémov, o to viac to platí v ďalších oblastiach života. Dynamické systémy z netechnických oblastí sa relatívnej jednoduchosti technických systémov blížia len vo výnimočných prípadoch. Rovnako výnimočne tu možno využiť aj linearizáciu modelu v okolí konštantných rovnovážnych stavov. Závery o systéme získame len jeho simuláciou na číslicových (niekedy aj analógových) počítačoch. S elegantnými matematickými postupmi lineárnej teórie tu väčšinou neuspějeme. Vytváranie matematických modelov skúmaných objektov a ich simulácia sú preto základným nástrojom analýzy komplexných dynamických systémov.

Skúmanie dynamiky reálnych systémov sa opiera o dva piliere: Jeden je tvorený teoretickými poznatkami teórie systémov, rozvíjanej najmä v rámci teórie automatického riadenia (resp. kybernetiky). Druhý pilier vytvárajú modelovanie a simulácia.

Kybernetika je vedný odbor zaoberajúci sa všeobecnými princípmi prenosu informácií (komunikácie) a riadenia v žijúcich organizmoch, v spoločenských objektoch a v neživých (technických) objektoch. **Teória automatického riadenia** je súčasťou kybernetiky. Skúma problematiku zavádzania strojov a samočinných zariadení s cieľom riadiť procesy bez priamej účasti človeka. Hoci má využívanie teórie dynamických systémov najväčšie tradície práve v teórii automatického riadenia, rýchlo nadobúda na význame prakticky vo všetkých disciplínach. Určitou brzdou ich šírenia sú pravdaže vysoké nároky na potrebný matematický aparát, v prvom rade na riešenie diferenciálnych rovníc. Popri tom však vystupujú aj požiadavky na zručnosti v programovaní a v práci s počítačmi.

V tejto publikácii sa budeme snažiť zredukovať všetky tieto prekážky a zoznámiť vás (predpokladáme, že prichádzate z rozličných pracovných oblastí) aspoň so základnými vedomosťami potrebnými na ich zvládnutie. Tradičné prekážky – modelovanie, matematické formulácie, programovanie a teoretické porozumenie – vám chceme pomôcť prekonať čo najjednoduchšími postupmi. Zjednodušenia však možno akceptovať len do tej miery, aby nenarušili výpovednosť vykonanej analýzy. To znamená, že môžeme vylúčiť len nepodstatný balast, čo je napokon pri práci s komplexnými systémami obvyklý postup.

Prvým dôležitým krokom bude zoznámiť sa s najjednoduchšími príkladmi systémov, s elementárnymi typmi v nich pôsobiacich signálov a s formuláciou grafického modelu systému. Tá zvyčajne začína verbálnym opisom celého systému, z ktorého sa ďalej odvíja jeho štruktúra, až ju nakoniec vyjadříme nejakým typom diagramov. Diagramy grafickým spôsobom ukazujú prepojenie a vzájomné pôsobenie jednotlivých elementov systému.

Čo je to modelovanie a matematický model?

Pri zdieľaní nášho poznania narážame na problém vyjadrovania našich poznatkov v rámci nejakej ucelenej vedeckej teórie. Za týmto cieľom vytvárame nové jazyky, lebo prirodzená reč svojimi možnosťami nepostačuje. Vhodný jazyk na vyjadrenie našich poznatkov musí mať jednoduchú a presnú skladbu, musí byť ľahko prispôsobiteľný experimentálnej a výpočtovej technike a musí poskytnúť presné a výstižné vyjadrenie našich poznatkov. Takéto možnosti vyjadrovania poskytuje najmä matematika a jednotlivé vedné disciplíny.

Matematické modely a modelovanie majú fundamentálny význam vo všetkých vedných disciplínach. Poskytujú možnosť vyjadrenia poznatkov o skúmaných objektoch a javoch a v spojitosti s prostriedkami výpočtovej techniky (simulácie) aj efektívny nástroj na ich ďalšie skúmanie.

Skúmanie nejakého objektu si často uľahčujeme tak, že zostrojíme model, ktorý je fyzikálne podobný objektu a dovoľuje ľahšie (presnejšie) poznávať jeho vlastnosti. Modelom bude teda nejaké fyzické zariadenie, niekedy dokonca tej istej fyzikálnej podstaty ako skúmaný objekt (originál). Model však nemusí mať len rovnakú fyzikálnu podstatu ako skúmaný originál. Môže byť iný, ale musí mať zo skúmaného hľadiska vlastnosti analogické originálu. Podstata **analógie** tkvie v tom, že javy prebiehajúce v rozličných fyzikálnych oblastiach opisujeme matematickými reláciami rovnakého typu. Analógia tkvie v podobnosti matematických vzťahov. Takýto model nazývame všeobecne matematickým modelom.

Podľa Alexíka (2001) sa v súčasnosti rozlišuje medzi štruktúrnou a funkčnou analógiou. **Štruktúrnou analógiou** sa rozumie úplná alebo čiastočná zhoda štruktúr dvoch systémov, abstrahovaných od ich konkrétnej látkovej alebo hmotnej realizácie (napr. analógia medzi Bohrovým modelom atómu a planetárnym modelom slnečnej sústavy). Najjednoduchšou štruktúrnou analógiou sú dve štruktúry, medzi ktorými je vzťah geometrickej podobnosti tvoriacej základ fyzikálneho modelovania. Dva systémy, ktoré sa líšia iba druhom prvkov, ale nie ich počtom a spojením, tvoria podobnosť nazývanú **izomorfia**. Táto je základom matematického modelovania.

Pojem izomorfizmu pracuje s jedno-jednoznačným (symetrickým) vzťahom dvoch rôznych systémov. V podstate je pritom jedno, ktorý z nich vystupuje ako originál a ktorý ako jeho model. V modelovaní sa však častejšie stretávame so situáciou, keď model vystihuje daný originál len z určitého hľadiska, resp. na určitej rozlišovacej úrovni. V takejto situácii hovoríme, že systém je s originálom **homomorfný**.

Pri **funkčnej analógii** sa dva systémy zhodujú z hľadiska funkcie, ktorú plnia, alebo z hľadiska charakteru správania. Pritom sa môžu líšiť druhom prvkov i štruktúrou. Podobné typy správania sa sú dôležité pre kybernetické modelovanie.

Pod pojmom modelovanie rozumieme proces poznávania istého objektu pomocou jeho zobrazenia inými prostriedkami, umožňujúcimi napodobniť niektoré jeho vlastnosti dôležité z hľadiska účelu jeho poznávania (Šutek a Varga, 1981).

Prvú etapu modelovania tvorí zisťovanie analógií medzi rozličnými javmi. Z nich potom vyplynie zostavenie modelu umožňujúceho skúmať zvolené vlastnosti objektu.

V ďalšej etape modelovania sa predmetom skúmania stáva model. Analyzujeme ho teoreticky alebo s ním experimentujeme a vykonávame pozorovania. Rozdielna podstata modelu často umožňuje využiť na pozorovania postupy, metódy a prístroje, ktoré by sme nemohli využiť pri skúmaní originálu. Ide napr. o rozdielne fyzikálne alebo časové mierky, možnosť opakovať rozličné javy alebo ich spustiť v obrátenom časovom slede, atď.

V dôsledku rozdielnej podstaty modelu a originálu treba byť opatrný pri interpretácii získaných poznatkov a je potrebné vytvoriť presné pravidlá na prenos poznatkov z modelu na originál. Definitívne potvrdenie získaných vlastností prináša spravidla až ich pozorovanie na reálnom objekte. Peknou ilustráciou procesu modelovania je napr. vývoj fyziky opísaný púťavou formou v mnohých publikáciách ako napr. Einstein a Infeld (1958) alebo Krempaský (1989).

3.1 Druhy modelov

Pod pojmom model budeme rozumieť:

- **hmotný objekt**, ktorý:
 - **fyzikálne zobrazuje skúmaný objekt** (fyzikálne podobný model), alebo

- **reálne zobrazuje (realizuje) systém,**
- **formálny systém opisujúci vlastnosti objektu.**

Pri zobrazení vyplývajú vzťahy medzi veličinami modelovaného objektu a modelu zo zákonov podobnosti. Spomenúť tu možno geografické mapy, stavebné plány, atď.

Podstata vytvorenia fyzikálneho modelu dynamického systému tkvie v tom, že pre daný originál sa realizuje model, v ktorom prebiehajú fyzikálne tie isté deje. Využíva sa tu podobnosť javov rovnakej fyzikálnej podstaty. Pomer dvoch zodpovedajúcich veličín modelu a originálu je bezrozmerný. Príkladom môžu byť zmenšené modely automobilov testované v aerodynamických tuneloch alebo modely zariadení používané v laboratóriách univerzít.

Analogóny predstavujú také hmotné objekty, v ktorých sa prebiehajúce deje opisujú rovnakými matematickými systémami ako javy prebiehajúce v modelovanom objekte alebo systéme. V skutočnosti teda ide o hmotné modely abstraktných systémov. V minulosti sa na modelovanie hojne využívali elektrické a elektromechanické systémy (analyzátory). Tie boli neskôr vystriedané špecializovanými analógovými počítačmi. V súčasnosti majú ako prostriedky na vytváranie matematických modelov najväčší význam číslicové počítače.

Matematické modely systémov vychádzajúce z matematickej podobnosti spadajú do poslednej triedy modelov.

Z hľadiska určenia možno deliť modely na:

- **poznávacie** (kognitívne) modely (koncepty ľudského poznania, uvažovania a vnímania, učenia sa indukciou, rozhodovania a plánovania);
- **normatívne** modely (účelovo orientované, ktoré definujú požadované funkcie a ciele systému alebo procesu);
- **opisné** modely (zamerané na typy správania sa);
- **funkčné** modely (zamerané na aktivity a riadenie).

Posledné dva typy modelov často delíme na **kvantitatívne modely** (opísané číslami alebo parametrami) a **kvalitatívne modely** (opísané kategóriami údajov).

3.2 Simulácia a simulátory

S matematickým alebo fyzikálnym modelom vykonávame experimenty a sledujeme vplyv rozličných podmienok okolia a začiatočných stavov systému. Hovoríme, že simulujeme rozličné situácie za tým účelom, aby sme poznali vlastnosti modelu. Keď poznáme vlastnosti modelu, ich interpretáciou získame vlastnosti objektu. Tieto sa následne snažíme dokázať aj na reálnom objekte (verifikácia). Celý cyklus sa uzatvára formulovaním nového, adekvátnejšieho modelu objektu alebo javu.

Simulácia je experimentovanie s modelom systému s cieľom zistenia jeho vlastností (Vavřín, 1983).

Podrobnejšie sa špecifikáciou pojmu simulácia systémov zaoberajú publikácie Černý a Kotva (1978), Kotva (1986), alebo tiež Alexík (2001). Možno z nich uviesť aspoň základnú formuláciu:

Základným princípom simulácie systémov je vyvodzovanie úsudkov o simulovanom systéme pomocou experimentov s jeho simulačným modelom. Alexík (2001)

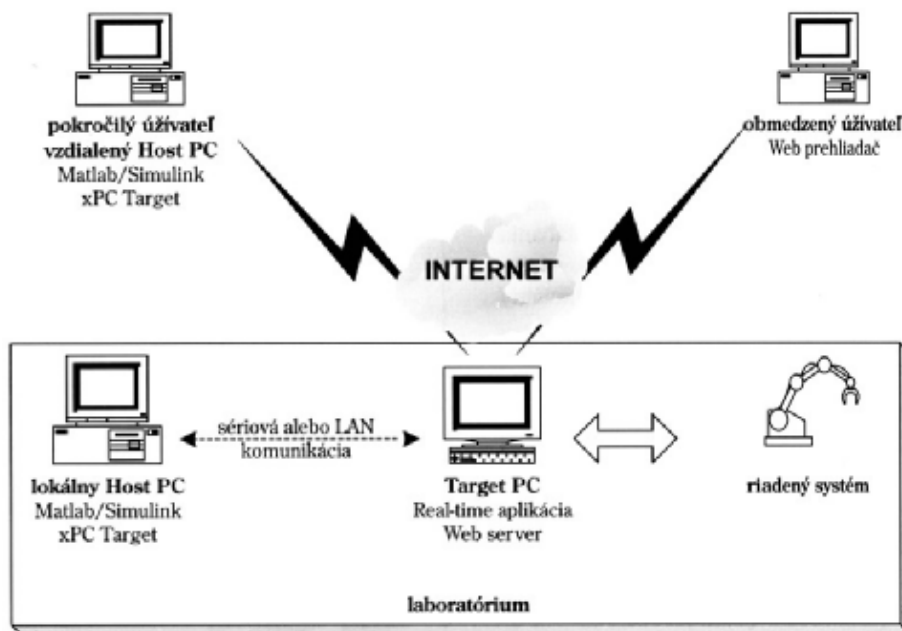
Simulácia predstavuje modelovanie systémov abstraktnými systémami znakov, číslíc, symbolov a systémov výrokov. Cieľom je uľahčenie skúmania originálnych objektov experimentovaním s ich modelmi vytvorenými pomocou číslicových počítačov alebo simulátorov. Na rozdiel od univerzálne využiteľných počítačov, **simulátor** (resp. **trenažér**) je jednoúčelové zariadenie určené na špecifický účel. V oboch prípadoch prebiehajú procesy opísané rovnakými matematickými rovnicami ako v simulovanom objekte. Fyzikálna podstata oboch procesov pritom môže byť rôzna. I keď pri simulácii ide v podstate o matematické modelovanie, treba ju chápať ako proces experimentovania s modelmi za rozličných podmienok (niekedy aj neskutočných). Cieľom je získať informácie o správaní sa modelovaného systému, zacvičiť obsluhu (reaktorov, lietadiel, lodí, jadrových elektrární) na získanie správnych reakcií v typických, ale aj krízových situáciách atď.

V užšom zmysle slovo simulácia predstavuje „matematickú techniku“, ktorá sa používa na riešenie problémov, ktoré nevieme vyriešiť analyticky.

Prednosti simulácie voči experimentovaniu priamo na skúmanom objekte možno zhrnúť takto:

- simulácia umožňuje spravidla skúmať viac premenných, ako by bolo možné na skúmanom objekte,
- náklady na simuláciu môžu byť rádovo nižšie ako pri experimentovaní so skúmaným objektom,
- čas potrebný na skúmanie rozličných situácií simuláciou môže byť mnohokrát kratší ako čas, ktorý by bol potrebný na skúmanie tej istej situácie priamo na skúmanom objekte,
- simulácia dovoľuje experimentovať aj za podmienok, ktoré reálne neexistujú.

Simulácia je experimentovanie s modelom systému. Model môže byť vytvorený na analógovom, hybridnom alebo číslicovom počítači. Používané sú aj fyzikálne modely. Vývoj smeruje ku komplexným modelom s modelovaním všetkých podstatných vlastností.



Obr.3.1 Architektúra virtuálneho laboratória

Novými prístupmi v modelovaní je aplikácia virtuálnej reality. Virtuálne laboratórium umožňuje realizovať praktické vedomosti z riadenia aj zložitých systémov. Je zrejmé, že je vhodné, ak systém pracuje v reálnom čase. Príklad virtuálneho laboratória [29] je na obr.3.1.

Nové trendy vedú k simulovaniu čo najväčších celkov s uvažovaním čo najkomplexnejšieho modelu systému.

3.3 Identifikácia systémov

Vytvorenie vhodného modelu a jeho zosúladenie so skúmaným objektom je iteratívny proces, pri ktorom vyberáme vhodnú štruktúru modelu (kvalitatívna závislosť) a k nej potom hľadáme vhodné hodnoty parametrov (kvantitatívna závislosť).

Pozorovaním identifikovaného objektu získavame informácie, ktoré sa kvantifikujú prostredníctvom merania a ďalej spracúvajú. Nazývame ich **empirické informácie**.

Identifikácia predstavuje analytickú, experimentálnu a vyhodnocovaciu činnosť zameranú na stanovenie modelu skúmaného systému.

Poznatky o objekte a príbuzných objektoch nahromadené v doterajšej histórii ľudstva, usporiadané zvyčajne do uceleného súboru – teórie – nazývame **apriórna** informácia. Empirické informácie získavané pozorovaním objektu nazývame aj **aposteriórne** informácie.

Čo je to systém?

Teória každého reálneho javu sa zakladá na predstave nazývanej model. Bez zavedenia akýchkoľvek obmedzení model možno reprezentovať matematickými vzťahmi a tieto matematické vzťahy nazývať systém. Význam slova systém však chápeme aj širšie: pestrosť našej reality nie je vytváraná len pestrosťou jednotlivých elementov, z ktorých sa skladá. Ďaleko viac k nej prispieva mnohorakosť vzájomného pôsobenia týchto elementov. Intenzita tohto pôsobenia je pritom rôzna: raz intenzívna, inokedy slabá, alebo žiadna.

Slovo **systém** (tiež **sústava**) používame na označenie určitého počtu elementov, ktorých vzájomné pôsobenie je relatívne intenzívne a možno mu priradiť nejaký význam (zmysel). Interakcie s okolím sú oproti tomu podstatne slabšie (Bossel, 1982).

Pri rozhladnutí sa po našom okolí zistíme, že je plné najrôznejších systémov, resp. dokonca systémov zložených zo subsystémov: ľudia, zvieratá, rastliny, ekosystémy, stroje, továrne, mestá, štáty, atď. Systémy existujú všade okolo nás v najrozmanitejších podobách. Ako sme už uviedli vyššie, pod systémom rozumieme vymedzenú časť reality. Jeho vnútorné interakcie sú podstatne intenzívnejšie ako interakcie s okolím. Súvis s okolím vyjadrujeme prostredníctvom väzieb označovaných ako **vstupy a výstupy**.

Často sa stretávame so systémami, ktoré transformujú signály z jednej formy na druhú. Takéto systémy nazývame **prevodníky**. Prevodníky nájdeme napr. v každom telefónnom aparáte: jeden z nich – mikrofón – mení akustické vlny (vstupný signál) na elektrický výstupný signál. Druhý z nich – slúchadlo – má za úlohu opačný prevod. Mení prijatý elektrický signál na akustický. V chladničke zasa nájdeme prevodník, ktorý mení teplotu izby na logický signál ovládajúci napájanie chladiacej jednotky. Nositeľom hodnoty tohoto logického signálu s úrovnami „0“ (zapnuté) a „1“ (vypnuté) je ohnutie bimetalového pásika. Prevodníky v gramofónoch, magnetofónoch alebo CD prehrávačoch umožňujú reprodukciu hudby zaznamenanú na rôznych typoch médií. Ďalšími možnými príkladmi prevodníkov by

mohli byť tenzometre používané na meranie tlaku (napr. v elektronických váhach), prietokomery (v stojanoch na čerpacích staniciach), termočlánky, snímače výšky hladiny (v palivovej nádrži automobilu alebo v automatickej práčke) atď.

Signály získavané z prevodníkov sú často zaťažené šumom. Tento treba potlačiť alebo (ak je to možné) úplne eliminovať. K tomu sa využívajú systémy nazývané **filtre**.

Ak je úroveň signálov príliš nízka alebo priveľká na to, aby mohli byť spracované ďalšími systémami, treba ich zosilniť, prípadne zoslabiť zaradením vhodného **zosilňovača**.

Výpočet akčných zásahov potrebných na dosiahnutie požadovanej dynamiky systému zabezpečujú **regulátory** na základe vyhodnotenia cieľov riadenia a aktuálnych hodnôt požadovaných a meraných veličín. Realizáciu týchto zásahov umožňujú **akčné členy**. Patria k nim napr. motory využívané na pohon kompaktných diskov, magnetofónov, električiek, lietadiel, lodí, obrábacích strojov, robotov atď. Tiež k nim patria rôzne typy zosilňovačov (meničov), regulačné ventily ovládajúce prietoky kvapalín a plynov a pod.

Pri podrobnejšom rozbere pojmu systémov sa ukazuje, že možno nájsť kritériá, ktoré umožňujú, aby sme objekty klasifikovali nezávisle od ich fyzikálnej podstaty.

Systém pozostáva z jedného alebo z viacerých štrukturálne prepojených elementov, ktorých stavy závisia od iných elementov (alebo od seba samých), pričom tiež ovplyvňujú iné elementy (vrátane seba samého). To znamená, že systém je tvorený:

- a) **elementmi** a
- b) **štruktúrou**.

Ako príklady možno uviesť: Strom, zviera, ekosystém rybníka, bicykel atď.

Systém má nejaký zmysel alebo mu ho možno pripísať!

To znamená, že vďaka zvláštnosti jeho štruktúry a jeho elementov je vznik určitých stavov pravdepodobnejší, ako vznik iných stavov.

Od okolitého prostredia je systém oddelený **hranicou**.

Táto je jednoznačná vtedy, keď medzi systémom a okolím neexistuje výmena látok, energie a informácií, alebo keď systém tvorí fyzikálne jednotný objekt. V mnohých prípadoch však treba hranicu definovať umelo, pričom sa za ňu volia plochy obklopujúce systém, cez ktoré je interakcia komponentov s okolím relatívne malá. Faktory, ktoré sú ovplyvňované vonkajším okolím, označíme ako **externé (vstupné) veličiny**.

Príklad: Systémová hranica organizmu je daná jeho vonkajším povrchom. Látková výmena, výmena energií a informácií cez tento povrch je spravidla podstatne menej intenzívna, ako vnútorné interakcie. Okolie pôsobí na organizmus vonkajšími faktormi (teplota, žiarenie, vlhkosť, potrava, atď.), na ktoré má organizmus spravidla žiadny alebo len malý vplyv.

Sú však aj systémy, ktorých pôsobenie na okolie nemožno zanedbať. Toto pôsobenie charakterizujeme **výstupnými veličinami systému**.

informácií na **formalizovaný (matematický alebo logický) model**. Ten ďalej umožňuje systematické skúmanie jeho správania sa za rozličných podmienok: buď matematickou analýzou, alebo numericou, resp. logickou simuláciou.

3. Formalizovaný model transformujeme na **počítačový simulačný model**. K tomu treba využiť primeranú metódu na opis systému, napr. systém obyčajných diferenciálnych rovníc, logické vety atď. Po zadaní parametrov, vonkajších pôsobení na systém, začiatočných podmienok a predpokladov (v prípade znalostných logických modelov) je potom možné získať výsledky charakterizujúce správanie sa systému **počítačovou simuláciou**.
4. Úvodné simulačné výsledky získané s novým modelom celkom bežne neposkytujú dostatočnú zhodu so správaním sa reálneho systému. Ich podrobnejšou analýzou odhalíme slabiny v procese formulovania modelu. Preto je dôkladné **overovanie (testovanie) modelu** nutnou súčasťou každého odvodenia. Overovanie modelu treba vykonať v celom rozsahu jeho platnosti (určenom s ohľadom na poslanie modelu). Pozorované odchýlky vedú k spresneniu formulácií a parametrov modelu. Cieľom tejto fázy je vylepšenie modelu do takého štádia, keď je z hľadiska definovaného posrania verným obrazom reálneho systému.

Vo všeobecnosti nemožno dokázať, že model systému je „správny“. V najlepšom prípade možno len dokázať, že model vyhovuje danému posraniu. Platnosť modelu má v týchto súvislostiach štyri rozličné aspekty, ktoré si vyžadujú rôzne postupy overovania:

Platnosť štruktúry: Treba ukázať, že štruktúra modelu zodpovedá štruktúre reálneho systému a že štruktúralne vzťahy, ktoré sú dôležité z hľadiska posrania modelu, sú v modeli skutočne obsiahnuté.

Platnosť správania: Treba ukázať, že pre celú množinu možných začiatočných podmienok a vplyvov okolia (vstupných veličín), ktoré sa vyskytujú v reálnom systéme, poskytuje model rovnaké dynamické vlastnosti ako reálny systém.

Empirická platnosť: porovnávajú sa numericke (alebo logické) výsledky o relevantnom spektre správania sa modelu s empirickými údajmi z reálneho systému, pričom musia vykazovať dostatočnú zhodu. Tam, kde empirické údaje nie sú dostupné, treba výsledky z modelu preskúšať aspoň s ohľadom na ich jasnosť a konzistenciu.

Platnosť použitia: treba dokázať, že predstavenie modelu zodpovedá cieľu štúdia systému a že model poskytuje informácie očakávaného typu.

Na zostavovanie simulačných schém a prácu s nimi potrebujeme poznať základné spôsoby grafického zobrazenia systémov, zásady ich upravovania a vlastnosti metód numerickej integrácie využívaných na riešenie opisujúcich diferenciálnych rovníc. Počítačová simulácia hrá pri ňom úlohu nástroja slúžiaceho na overenie presnosti modelu.

3.4 Vstupy, výstupy a stavy systémov

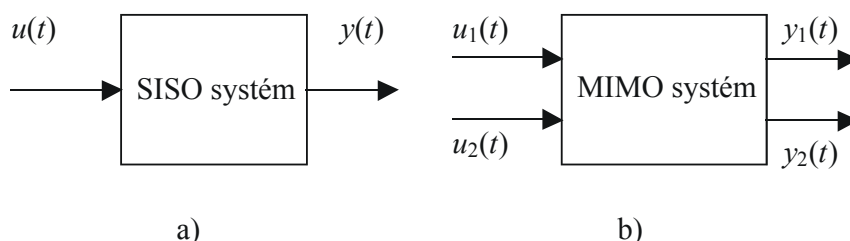
Formulácie presnejších normatívnych a poznávacích modelov vyžaduje pochopenie opisných a funkčných kvantitatívnych modelov, založených na empirických údajoch. S takýmito modelmi sa stretávame najmä vo vede, technike a v ekonomike. Ich centrálnou úlohou je vytvoriť model systému tak, aby zabezpečoval čo najlepšiu zhodu medzi zadanými vstupnými a výstupnými údajmi.

Pod **vstupom** systému budeme rozumieť signál, ktorý je **vonkajšou príčinou zmien** v systéme. Ak ide o zámerné (želané) zmeny, hovoríme o **riadiacich** signáloch. Neželané zmeny sú výsledkom pôsobenia vstupných signálov označovaných ako **poruchy**. Používame

však aj systémy, ktoré nemajú definovaný žiadny vstup (napr. generátory signálov). Takéto systémy nazývame aj voľné, autonómne systémy.

Pod **výstupom** systému zasa rozumieme signál, ktorý v systéme pozorujeme (meriame), alebo signál, ktorým systém pôsobí na svoje okolie. Systém s jedným vstupom a výstupom nazývame **jednorozmerný** systém, skrátene SISO systém (z anglického *Single Input – Single Output*). Znázorňujeme ho blokom (obr.3.3). Vstupný signál $u(t)$ a výstupný signál $y(t)$ sú naznačené šípkami.

Systém s viacerými vstupnými a výstupnými veličinami nazývame viacrozmerný, alebo MIMO (angl. *Multi Input – Multi Output*) systém. Vymedzenie vstupných a výstupných veličín nemusí byť triviálnym a jednoznačným problémom.



Obr.3. 3 (a) Jednorozmerný systém (s jedným vstupom a s jedným výstupom) a (b) viacrozmerný systém (s dvomi vstupmi a výstupmi)

Získané modely slúžia k viacerým cieľom:

Predikcia – pri známom opise systému a pri známych vstupných veličinách je možno predvídať budúce zmeny výstupnej veličiny;

Pochopenie zákonitostí – získanie opisu modelu umožňuje pochopiť zákonitosti správania sa systému a dosiahnuť tak nastolenie vnútorného poriadku v systéme;

Kompresia údajov – získanie modelu systému umožňuje kompaktnou formou vyjadriť budúce výstupy zodpovedajúce daným vstupom, atď.

Kvantitatívne modely môžeme formulovať s rôznymi stupňami zložitosti, detailnosti a vnútornej štruktúry. **Vstupno-výstupne** (behaviorálne) modely nevyžadujú predpoklady ohľadne vnútornej štruktúry systému a pristupujú k nemu ako k **čiernej skrinke** vytvárajúcej príčinný vzťah medzi vstupom a výstupom. Zanedbanie vnútornej štruktúry modelu môže byť dôsledkom snahy zanedbať nepodstatné detaily, ale aj dôsledkom nedostatočných vedomostí o vnútornej podstate prebiehajúcich procesov. S takýmito prístupmi sa stretávame pri návrhu riadiacich systémov, ale aj v biologických a biomedicínskych aplikáciách.

Modely môžu byť **statické (bezzotrvačné)** alebo **dynamické**. Ako dynamické označujeme tie systémy, pri ktorých výstup nezávisí len od okamžitej hodnoty vstupu, ale aj od vnútorného stavu vyjadrujúceho pôsobenie minulých hodnôt vstupov. Ak sa stav systému mení s časom, budeme hovoriť o **procesoch**, ktoré v ňom prebiehajú.

V nasledovných častiach tejto kapitoly si ukážeme, ako možno široké spektrum funkčne a fyzikálne rôznorodých dynamických systémov opísať formálne jednotným aparátom reprezentovaným **lineárnymi diferenciálnymi rovnicami n -tého rádu s konštantnými koeficientmi**, alebo sústavami n lineárnych diferenciálnych rovníc 1. rádu, tzv. **stavovými rovnicami**.

3.5 Základné metódy opisu systémov

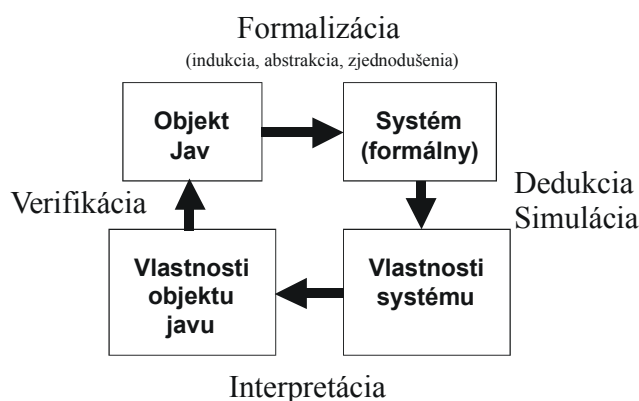
Na pochopenie dynamiky zložitých systémov potrebujeme analyzovať vzájomné vzťahy vstupných a výstupných veličín. Zvyčajne začíname zhromažďovaním vstupných a výstupných údajov o systéme počas experimentov, pri ktorých sa menia vstupné veličiny systému. Zjednodušenie postupov analýzy niekedy dosahujeme zavedením tzv. stavových veličín, ktorými sa celková úloha skúmania vzťahu vstupných a výstupných veličín rozdelí na analýzu vzťahu vstupných a stavových veličín a na analýzu vzťahu stavových a výstupných veličín. Priamemu vzťahu vstupných a výstupných veličín zodpovedá opis dynamických systémov **diferenciálnymi rovnicami n -tého rádu**. Pri zavedení stavových veličín je tento vzťah vyjadrený dvomi skupinami rovníc:

1. sústavou n diferenciálnych rovníc 1. rádu opisujúcou vzťah vstupných a stavových veličín zapísanou zvyčajne v tvare vektorovej **stavovej rovnice** a
2. **výstupnou (alebraickou) rovnicou** opisujúcou vzťah stavových a výstupných veličín. V prípade systémov s jedným výstupom ide o jedinú rovnicu, v prípade m -rozmerného výstupného vektora je výstupná vektorová rovnica vytvorená z m skalárnych rovníc.

Zostavovanie diferenciálnych rovníc je spojené s aplikáciou základných fyzikálnych zákonov (zákon zachovania energie, Newtonov zákon, Kirchhoffove zákony a pod.) na toky energie a hmoty (materiálu). Postup pri tvorbe matematického modelu možno zhrnúť do nasledovných bodov:

1. Definovanie systému, jeho štruktúry a komponentov (vstupy, výstupy, resp. stavy).
2. Formulovanie matematických modelov pre elementárne časti systému.
3. Zohľadnenie interakcií a zostavenie diferenciálnych rovníc opisujúcich model ako celok.
4. Riešenie rovníc pre dané začiatočné podmienky, resp. začiatočné stavy, vstupné veličiny a zvolenú výstupnú veličinu (veličiny) – analyticky alebo simuláciou.
5. Overenie platnosti výsledkov a zjednodušujúcich predpokladov vykonaním a vyhodnotením paralelných experimentov na originálnom systéme a na jeho modeli. Ak je presnosť výsledkov postačujúca, možno získaný model využiť na riešenie ďalších úloh. Ak nie, treba hľadať dôvod disproporcií a vrátiť sa k bodu 1, resp. 2.

Zjednodušene možno celý cyklus ilustrovať obr.3.4.



Obr.3.4 Systémový prístup ku skúmaniu vlastností objektu alebo javu

3.6 Zobrazovanie systémov

Zobrazenia prvkov, strojov a zariadení pomocou značiek a symbolov sú potrebné v mnohých oblastiach vedy a techniky. Zjednodušujú navrhovanie, konštrukciu a predaj technických systémov a uľahčujú aj ich správnu prevádzku a obsluhu.

Existujú rôzne zobrazenia s vlastnými pravidlami:

- **Zobrazenia vo forme opisu s textom**, k pochopeniu ktorého sa často treba určiť aj odborné výrazy.
- Technický systém možno predstaviť aj formou **obrazov a výkresov** zhotovovaných podľa dohodnutých pravidiel (aj technické výkresy môžu byť teda chápané ako modely - najmä vtedy, keď sú podstatne zjednodušené).

Mnohé technické systémy si je účelné predstaviť tak, že pozostávajú z jednotlivých elementov so vzájomnými spojeniami. Na ich zobrazenie môžeme využiť **schémy zapojenia** alebo o niečo abstraktnejšie **diagramy**.

Ku schémam patria elektrotechnické, elektronické a hydraulické schémy so svojimi medzinárodne dohodnutými symbolmi, ktoré sa používajú aj pri stavbe systému z daných prvkov. Dôležitou požiadavkou na diagramy je, aby sa dali vyhotoviť v čo najkratšom čase: preto dohodnuté symboly pozostávajú z čo najviac zjednodušených obrázkov alebo symbolov skutočných stavebných dielcov. O čo viac je však takýto symbol zjednodušený, o to ťažšie sa dá osvojiť a o to ťažšie sa s ním vykonávajú kvalitatívne úsudky. Aj pri zjednodušovaní však existuje určitá optimálna hranica, po prekročení ktorej je už zobrazenie príliš abstraktné. Samozrejme, pre každý systém možno zostaviť rôzne modely, vždy podľa požadovanej presnosti a podľa poslania modelu. S väčšou presnosťou modelov stúpa aj ich komplikovanosť, čo zvyšuje nároky na výpočet a programovanie a núti nás k prijímaniu kompromisov medzi jednoduchosťou a presnosťou.

Aj pri schémach zapojenia sa možno stretnúť s tendenciou, pripísať jednému elementu len jednu funkciu, a teda ho predstaviť ako ideálny element. Správanie sa skutočných prvkov potom možno vyjadriť pridaním fiktívnych prvkov, ktoré v skutočnosti neexistujú. Ako príklad možno uviesť **náhradné schémy** generátorov používané v elektrotechnike a v hydraulike. Reálne generátory nahrádzame ideálnym zdrojom napätia s odporom zapojeným do série, ktorý má zachytiť vnútorný odpor skutočného generátora. Voltampérové charakteristiky náhrady sa tak priblížia skutočným charakteristikám.

Diagramy sú alebo **simultánne**, t.j. všetky časti pracujú súčasne, alebo **následné (sekvenčné)**, keď zastupujúci bod² postupne prebieha diagramom a jeho okamžitá pozícia udáva aktuálny stav systému. Takéto následné diagramy zahŕňujú **vývojové diagramy riadenia** (angl. *flow charts*), **schémy výrobných postupov** (*flow diagrams*) a plány sietí podnikového hospodárstva (angl. PERT- alebo CPM³-charts).

Simultánne diagramy sú buď **kauzálne** (s určeným smerom pôsobenia medzi elementmi), alebo **akauzálne**, t.j. bez jednoznačného určenia príčiny a následku. Veľmi dôležitý pojem kauzality bude ďalej vysvetlený v kapitole venovanej blokovým schémam (signálovým diagramom).

Problematika voľby kauzality je hlbšie rozpracovaná najmä pre **väzbové diagramy** (angl. *bondgraphs*, pozri napr. Huba a kol., 2001; Jörgl, Kallinovsky, Wurmsdobler, 1997; Karnopp, Margolis, a Rosenberg, 1990; Thoma, 1974, 1990). Tieto možno považovať za simultánne

² Bod znázorňujúci stav systému

³ Angl. *Critical Path Method* = metóda kritickej cesty

diagramy, ktoré sa najskôr akauzálné zostavia a potom sa systematickou voľbou kauzality (smeru pôsobenia) prevedú na kauzálné diagramy. Tento krok možno realizovať aj programovo!

Účelom rozličných zobrazení je znázorniť spôsob činnosti systému. Možno z nich určovať hodnoty a priebeh rôznorodých fyzikálnych veličín, čo dáva základ pre výpočet a dimenzovanie stavebných prvkov. Vytvorenie modelu pre nejaký systém alebo proces je dôležitou zložkou činnosti vedcov a inžinierov, ktorou možno veľmi zjednodušiť následné výpočty. V tomto zmysle sú aj schémy a diagramy každého druhu modelom systému.

3.7 Opis vlastností udalostných systémov

Ako hovorí samotný názov, v týchto systémoch sa opis systému zaoberá opisom udalostí a prechodmi medzi nimi. Postupnosť udalostí charakterizuje vývoj procesu. Udalostným systémom sa hovorí aj diskretné procesy. Diskretnosť je tu chápaná inak ako v systémoch s tzv. diskretnými členmi.

Príkladmi **udalostných systémov** sú montážne procesy, procesy balenia, strojárské výroby (opracovanie, lisovanie,...) ale aj procesy údržby a opráv a samozrejme veľa ďalších. Udalosti nastávajú aj priamo v riadiacom člene. Každá zmena riadiacich signálov je vlastne udalosť. Je zrejmé, že v udalostných systémoch trvajú jednotlivé udalosti rôznu dobu, resp. medzi rôznymi udalosťami môže uplynúť rôzny čas.

3.7.1 Modely udalostných systémov

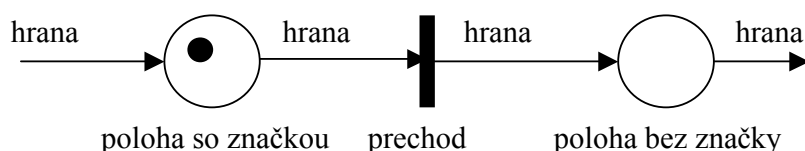
Na modelovanie udalostných systémov sú využívané grafy. Veľmi často sa používajú Petriho siete. Petriho siete sú grafický a matematický nástroj, vhodný na modelovanie a analýzu systémov diskretných udalostí. Autorom Petriho sietí je nemecký matematik C.A.Petri, ktorý definoval formalizmus na modelovanie diskretných udalostí (1960-1962) [30]. Výhodou Petriho sietí je, že umožňujú opísať paralelné a asynchrónne procesy a riešiť konfliktné situácie.

Základné pojmy

Neoznačená Petriho sieť je orientovaný ohodnotený biparitný (bichromatický) graf. Petriho sieť sa skladá z uzlov, ktoré sú spojené hranami. Orientovaný graf má orientované hrany grafu. Ohodnotený graf má hranám priradené váhy. Biparitný graf má množinu uzlov zloženú z dvoch podmnožín – množiny polôh a množiny prechodov, ktoré sa na grafe striedajú.

Označený graf vznikne, ak sa do polôh umiestnia značky.

Prvky Petriho siete sú na obr.3.5,



Obr.3.5 Základné prvky Petriho siete

pričom:

- poloha môže obsahovať nezáporný celý počet značiek,
- v okamihu aktivácie prechodu sú odobraté značky zo vstupných miest a pridané značky do výstupných polôh,
- orientované hrany spájajú polohy a prechody,

- začiatkové značenie opisuje začiatkový stav systému,
- vývoj systému je reprezentovaný presunom značiek v sieti na základe aktivácie prechodu,
- každé nové značenie reprezentuje nový stav systému.

To, že udalostných systémoch sa môžu vyskytovať procesy s nezanedbateľným časom trvania viedlo k zavedeniu **časových Petriho sietí**.

3.8 Zhrnutie

- 1) Modelovanie je činnosť vedúca k formulovaniu matematického alebo fyzikálneho opisu, ktorý svojimi vlastnosťami charakterizuje z určeného hľadiska skúmaný systém. Pri modelovaní majú významnú úlohu analógie. Analógia znamená podobnosť vlastností alebo vzťahov, nie ich identitu.
- 2) Simulácia je experimentovanie s modelom systému s cieľom zistenia vlastností systému. Modely dnes realizujeme najčastejšie na číslicových, zriedkavejšie aj na analógových a hybridných počítačoch. Simulátor (trenažér) je jednoúčelové zariadenie, v ktorom prebiehajú procesy opísané rovnakými matematickými rovnicami ako v simulovanom objekte. Fyzikálna podstata obidvoch procesov pritom môže byť rôzna.
- 3) Matematický model je sústava matematických výrazov, ktoré vyhovujúcim spôsobom opisujú (zvolené) statické a dynamické vlastnosti systému. Pri zostavovaní matematických modelov obvykle robíme rôzne zjednodušenia, aby výsledné vzťahy neboli neúmerne zložité. Proces zjednodušenia nazývame aproximáciou. Zjednodušenú podobnosť formulovanú len z určitého hľadiska nazývame homomorfizmus.
- 4) Identifikácia dynamického systému je experimentálny proces, ktorým získavame matematický model daného objektu vo forme sústavy diferenciálnych, diferenčných alebo iných rovníc. Experimentálnu identifikáciu zvyčajne kombinujeme so systémovou analýzou (analytickou identifikáciou).
- 5) Slovo systém (tiež sústava) používame na označenie určitého počtu elementov, ktorých vzájomné pôsobenie je relatívne intenzívne a možno mu priradiť nejaký význam (zmysel). Interakcie s okolím sú oproti tomu podstatne slabšie.
- 6) Systém pozostáva z jedného alebo z viacerých štruktúrne prepojených elementov (prvkov), ktorých stavy závisia od iných elementov (alebo od seba samých), pričom tiež ovplyvňujú iné elementy (vrátane seba samého). To znamená, že systém je tvorený elementmi a štruktúrou. Systém má nejaký zmysel alebo mu ho možno pripísať! Od okolitého prostredia je systém oddelený hranicou.
- 7) Systém je časťou reality, ktorej pôsobenie na okolie je charakterizované výstupnou veličinou. Pôsobenie okolia na systém charakterizujeme jeho vstupnými veličinami.
- 8) Systémy zobrazujeme rôznymi typmi schém a diagramov. Diagramy predstavujú určitý model daného systému. Model systému vzniká tým, že sa zhrnú podstatné účinky vstupných veličín opisované fyzikálnymi zákonmi. Nepodstatné sa zanedbávajú, čiže skutočné deje sú idealizované. Po formulácii modelu možno celý systém simulovať na samočinných počítačoch. Model sa využíva aj na kvalitatívne zhodnotenie správania sa systému.
- 9) Schémy a diagramy pozostávajú z elementov (členov, prvkov) alebo symbolov, ktoré sú viac alebo menej štylizovanými symbolmi skutočných prvkov. K tomu pristupujú spojenia (väzby) medzi elementmi, ako elektrické vodiče alebo potrubia, ktoré sú väčšinou predstavované jednoduchými čiarami. Pre každú oblasť použitia sú prvky a spojenia schém medzinárodne zjednotené, čo platí vo väčšine technických odborov.

- 10) Dopĺňaním fiktívnych elementov sa schémy zapojenia menia na náhradné schémy (používané napr. v elektrotechnike). Dôležitú úlohu v nich hrá pojem ideálnych prvkov (napr. pojem ideálnych napäťových zdrojov v elektrotechnike, dodávajúcich konštantné napätie bez ohľadu na skutočnú hodnotu prúdu, a ideálnych prúdových zdrojov, dodávajúcich konštantný prúd bez ohľadu na pripojené napätie). Kombináciou fiktívnych ideálnych prvkov vieme dostatočne presne aproximovať reálne prvky (napr. doplnením ideálnych napäťových zdrojov sériovým odporom dostaneme zdroje s charakteristikami blízky reálnym zdrojom).

Literatúra

Z domácich zdrojov zaoberajúcich sa problematikou modelovania, identifikácie a simulácie systémov možno spomenúť publikácie Hudzovič (1982), (1990), Kalaš, Jurišica a Žalman (1978), Šutek a Varga (1981).

Zahraničných učebníc zaoberajúcich sa s touto problematikou je skutočne veľa. Pri tvorbe tejto publikácie boli najčastejšie používané: Bossel (1982), Chen (1994) a Johansson (1993). Publikácií zameraných na problematiku modelovania a simulácie v špecifických vedných oblastiach však možno nájsť omnoho viac:

- [1]. Alexík, M. (2001). Metodológia modelovania a simulácie systémov.
- [2]. Balda, M. (1978). Úloha simulace systémů při zdokonalování řídicí činnosti. Automatizace 21, č.4, 85-86.
- [3]. Bennet, S. (1996). A Brief History of Automatic Control. IEEE Control Systems, Vol.16, No 3, 17-25.
- [4]. Brejcha, M. (1978). Rozvoj oboru simulace systémů – závěry prognostického šetření. Automatizace 21, č.4, 88-90.
- [5]. Bossel, H. (1982). Simulation dynamischer Systeme. Vieweg & Sohn, Braunschweig.
- [6]. Černý, P. a Kotva, M. (1978). Dohoda o obsahu pojmu „Simulace systémů“. Automatizace 21, č.4, 86-87.
- [7]. Einstein, A., Infeld, L. (1958). Fysika jako dobrodružství poznání. Orbis Praha
- [8]. Fuller, A.T. (1976). The early development of control theory. ASME, Journ. Dyn. Syst. Meas. Control., 38, 109-118, 224-235.
- [9]. Huba, M., Oravec, I., Hruz, B., Kopčok, M. (2001). Modelovanie a simulácia. UMB Banská Bystrica.
- [10]. Hudzovič, P. (1982). Teória automatického riadenia, I. Lineárne spojité systémy. Skriptum, ES SVŠT Bratislava.
- [11]. Hudzovič, P. (1990). Identifikácia a modelovanie. 2. vydanie, ES SVŠT Bratislava.
- [12]. Chen, Ch. (1994). System and Signal Analysis, 2nd ed., Saunders College Publ. Fort Worth.
- [13]. Johansson, R. (1993). System modelling and identification. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ
- [14]. Jörgl, H.P., Kallinovsky, J., Wurmsdobler, P. (1997). Kalibond – a Tool for Teaching Bond Graph Modelling. 4th IFAC Symposium Advances in Control Education, Istanbul. (Tiež dostupné na www.impa.tuwien.ac.at)
- [15]. Kalaš, A., Jurišica, L. a M. Žalman (1978). Technická kybernetika elektrických pohonov. ALFA Bratislava.
- [16]. Kálman, R.E. (1961). On the General Theory of Control Systems. Proc. 2st Int. Congress on Automatic Control, Moscow 1960. Butterworths London, Vol.1, 481-492.
- [17]. Karnopp, D.E., Margolis, D.L. and Rosenberg, R.C. (1990). System dynamics, a unified approach. John Wiley & Sons, Inc. N.York.
- [18]. Krempaský, J.: Vesmírne metamorfózy: Svet očami fyziky. Smena Bratislava 1989

- [19]. Kheir,N.A., Åström,K.J., Auslander,D., Cheok,K.C., Franklin,G.F.,
 [20]. Masten,M. and M.Rabins (1996). Control systems engineering education. Automatica 32, No.2,147-166.
 [21]. Mayr,O. (1970). The origins of feedback control. MIT Press, Cambridge, MA.
 [22]. Oldenbourg,R.C. a Sartorius,H. (1944, 1951). Dynamik selbsttätiger Regelungen. 2. vydanie, R.Oldenbourg-Verlag, München.
 [23]. Poincaré,H. (1892). Les Méthodes Nouvelles de la Mécanique Céleste, vol.1, Gauthier-Villars Paris.
 [24]. Smith,E.S. (1942). Automatic Control Engineering.
 [25]. Soukup, J.: Identifikace soustav. SNTL Praha 1990.
 [26]. Šutek,L., Varga,M.: Experimentálne metódy identifikácie. VEDA Bratislava 1981.
 [27]. Thoma, J.U. (1990). Simulation by Bondgraphs. Springer-Verlag, Berlin.
 [28]. P. Vavřín a kol. (1983). Malá encyklopedie elektrotechniky: Automatizační technika. SNTL Praha
 [29]. Masár,I.,Abelovský,M.: Realizácia virtuálneho laboratória na riadenie v reálnom čase s použitím programového prostriedku Matlab. AT&P Journal č.2, 2002
 [30]. Hanzálek,Z.: Petriho sítě. Automatizace č. 7–8, 2001,

Otázky a úlohy

- Uveďte príklady využívania modelovania v rôznych oblastiach života!
- Viete uviesť príklady systémového prístupu ku skúmaniu vlastností objektu vo fyzike, resp. v ďalších oblastiach vedy?
- Vymenujte niekoľko príkladov na využívanie simulácií, resp. simulátorov!
- Čo je to simulátor? Na čo slúžia simulátory v autoškole, vo výcviku pilotov a kozmonautov, v jadrových elektrárnach?
- Viete vysvetliť princípy, na ktorých pracujú analógové počítače? Viete vymenovať ich základné stavebné prvky?
- Čo je to systém? Čím je charakteristický? Čo je to SISO, resp. MIMO systém?
- Vymenujte niekoľko príkladov systémov z rôznych oblastí!
- Čo je to identifikácia a aké je jej poslanie?
- Vymenujte príklady na využitie identifikácie v bežnom živote!
- Aký typ modelov reprezentuje:
 - a) Obraz (krajinka, portrét);
 - b) Busta, socha;
 - c) Mapa;
 - d) Schéma zapojenia;
 - e) Vývojový diagram?
- Čo sú udalostné systémy?
- Ako možno opísať udalostné systémy?
- Aké sú neoznačené Petriho siete?
- Aké prvky má Petriho sieť?
- Aké trendy sú v simulácii systémov?

4 Technické a programové prostriedky

Cieľom je opísať základné členy systémov automatického riadenia, požiadavky na ich vlastnosti, uviesť základné informácie o súčinnosti subsystémov.

V riadiacich systémoch je potrebné realizovať členy, ktoré umožňujú merať veličiny procesu, prenášať získané informácie, spracovávať informácie a všetky signály v systémoch upravovať podľa potreby (filtrovať, zosilňovať, modulovať, výkonovo zosilňovať). Dôležité sú systémy, ktoré umožňujú operátorovi získať v zrozumiteľnej forme informácie o procese a zasahovať do systému, tzv. operátorské rozhranie, pre ktoré sa často používa označenie HMI –Human Machine Interface.

4.1 Riadiace systémy

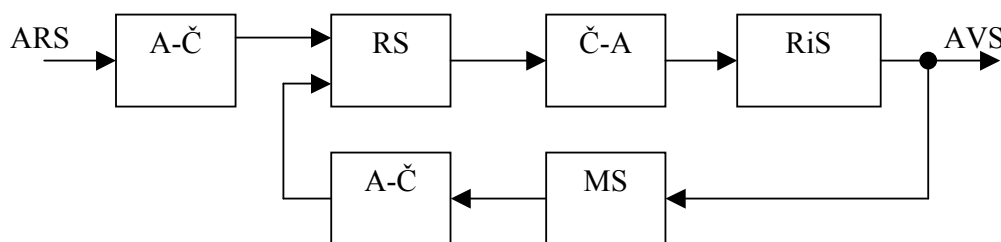
Poslaním riadiacich systémov je realizovať **riadiace algoritmy**. Zložitosť realizácie riadiaceho systému je závislá od zložitosti riadeného procesu a od zložitosti riadiaceho algoritmu. Základná schéma bola uvedená na obr.1.1. Do riadiaceho systému pri komplexnom pohľade patria aj snímače a akčné členy, ktoré v tejto časti budeme opisovať osobitne, preto riadiacim systémom budeme v tejto časti rozumieť len časť, ktorá v nevýkonovej forme realizuje riadiace algoritmy.

Riadiace systémy musia zabezpečiť požadované vlastnosti systému v ustálených i v prechodných stavoch. V jednoduchých prípadoch sa používajú analógové systémy alebo jednoprocessorové mikropočítačové systémy. V zložitých systémoch sa používajú multipočítačové systémy, viacúrovňové riadiace systémy, systémy zapojené v počítačovej sieti (podľa obr.2.1. alebo obr.2.2).

Neoddeliteľnou súčasťou automatizácie je riadenie obrábacích strojov, tvárniacich strojov, strojov na delenie materiálu, robotov a manipulatorov, meracích systémov a jednoučelových strojov. Podobné úlohy sa riešia v umeleckej a reklamnej tvorbe, pri riadení laserov, v rôznych iných systémoch, kde sa riadi pohyb. Ide o riadiace systémy označované CNC (Computerized Numerical Control), v ktorých na základe programu činnosti sú riadené pohyby daného mechanizmu. Dôležitou funkciou CNC systému je **koordinácia pohybov jednotlivých osí**, pričom pohyb v osiach musí byť spojitý. Častou funkciou je **transformácia súradnicových systémov**. Pri častej zmene programu činnosti skupiny strojov sa používa DNC (Distributed Numerical Control), kde je program činnosti preberaný z DNC servera (skratka DNC sa používa aj vo význame Direct Numerical Control).

4.1.1 Analógové riadiace členy

Jedným zo známych regulátorov je Wattov odstredivý regulátor (obr.4.1), na ktorom je možné názorne vysvetliť princípy spätnej väzby a regulácie. V tomto zariadení sa na snímanie rýchlosti otáčania využíva získanie rovnováhy odstredivej sily a zemskej príťažlivosti. Želaná rýchlosť otáčania sa nastaví polohou páky. Ak sa rýchlosť zvýši poruší sa rovnováha síl a v dôsledku väčšej odstredivej sily sa ramená snímača oddialia a tým sa posunie objímka a cez páku sa uzatvára ventil, čo zníži prietok pary a následne poklesnú otáčky stroja. Na svoju činnosť potreboval systém len mechanickú energiu z výstupu stroja. Je zrejmé, že presnosť takejto regulácie bola veľmi nízka. Uvedený princíp regulácie by sa dal realizovať aj dnes, ale modernejšími prvkami. Súčasný systémy však vyžadujú oveľa vyššiu presnosť regulácie a oveľa zložitejšie algoritmy riadenia.



Obr.4.3 Príklad riadiaceho systému s číslicovým riadiacim členom

Je zrejmé, že v uvedenej schéme sa získa len časť vlastností, ktoré poskytujú číslicové riadiace systémy. Analógový riadiaci signál môže byť zaťažený rovnakými chybami ako v spojitých riadiacich systémoch. Podobne to platí pre merací systém analógového výstupného signálu.

Medzi základné požiadavky na riadiace systémy patrí spoľahlivosť systému. V počítačových systémoch je spoľahlivosť tvorená spoľahlivosťou hardveru i spoľahlivosťou softveru. Medzi základné výhody počítačového riadenia patrí jednoduchá a rýchla zmena riadiaceho programu, možnosť modifikácie programu činnosti, existencia pamäte, možnosť komunikácie v počítačovej sieti.

Zariadenia majú často zabudovaný svoj vlastný počítačový riadiaci systém. Tieto systémy sú označované ako vnorené. Je zrejmé, že základnými požiadavkami sú rozmery a energetická náročnosť. Vnorené systémy môžu pritom disponovať obvyklými vlastnosťami počítačových riadiacich systémov.

Počítače sú použité priamo na riadenie, alebo len ako inteligentné operátorské panely, alebo komunikačné systémy. Používané sú osobné počítače alebo počítače osobitne konštruované na použitie v príslušnom prostredí (priemyselné počítače).

Jedným z najpoužívanejších prostriedkov automatizačnej techniky v súčasnosti je PLC (Programmable Logic Controller), ktoré predstavil v roku 1968 R.E.Morley. Od osobného počítača sa PLC odlišuje tým, že:

- PLC je určené na nasadenie v prostrediach výrobných závodov,
- PLC je určené na spracovanie veľkého počtu vstupov a riadenie veľkého počtu výstupov,
- PLC používa symbolický programovací jazyk.

Okrem hardverových PLC sa dnes používajú aj tzv. softverove PLC.

4.1.3 Programové vybavenie riadiacich systémov

Riadiace systémy s procesorovou realizáciou sú výhodné z hľadiska možnosti zmeny programu činnosti ako aj zmeny algoritmov riadenia. Pritom je možné programovať systémy priamo v strojovom kóde alebo používať jazyky vyšších úrovní.

Pre počítačové riadiace systémy sú potrebné **operačné systémy reálneho času**. Vyznačujú sa tým, že majú definované časy reakcie.

Pri softvérovej implementácii riadiacich algoritmov existuje riziko zlyhania riadiaceho systému [1] pri zlyhaní danej implementácie. Tieto riziká sú neprípustné všeobecne a osobitne pri riadení takých procesov, ktoré sú nebezpečné. Primárnou požiadavkou je tu jednoduchosť a prehľadnosť programov ako základný predpoklad možnosti testovania, overovania správnej

funkcie a konečnej validácie softveru. Základné požiadavky, ktoré treba uvažovať pri tvorbe spoľahlivého softveru sú:

- štruktúra programu má byť založená na modulárnej koncepcii,
- štruktúra programu má byť jednoduchá a zrozumiteľná, bez spätných skokov,
- musí byť podrobná dokumentácia,
- prednosť majú problémovo orientované jazyky pred strojovo orientovanými,
- prednostne sa používa grafická dokumentácia,
- overovanie funkcií pri programovaní začína skúšaním modulov a postupuje programovými prostriedkami zdola hore,
- počítačový systém musí kontrolovať ručný vstup z hľadiska syntaktickej správnosti.

Algoritmizácia je proces dekomponovania nejakej činnosti na elementárne kroky tak, aby sa v slede podľa vopred daného súboru pokynov alebo návodu dosiahol požadovaný výsledok. Najznámejšie sú algoritmy pre formálne objekty matematiky ako sú čísla, symbolické výrazy, kombinatorické štruktúry a pod.

Algoritmus je presný predpis a postup určujúci riešenie predtým definovanej úlohy od meniteľných východiskových údajov až po požadované výsledky. Predpis sa skladá z jednotlivých krokov riešenia zapísaných v určitom poradí. Najdôležitejšími vlastnosťami každého algoritmu sú hromadnosť, rezultatívnosť a univerzálnosť pre danú triedu úloh. Každý algoritmus má jeden začiatok a môže mať niekoľko ukončení.

Všetky postupy a algoritmy, ktoré v svojom dôsledku vedú k určitému napodobňovaniu prejavov inteligentného chovania človeka sú predmetom skúmania **umelej inteligencie**. Za začiatok umelej inteligencie sa pokladá rok 1956. Definícia systémov umelej inteligencie nie je ešte ustálená. Často sa vychádza z testu, ktorý navrhol A. Turing. V teste na umelú inteligenciu systému sa požaduje, aby stroj reagoval na podnety ľudského partnera tak, že človek nie je schopný rozpoznať či komunikuje so strojom alebo inou osobou prostredníctvom terminálu. Ukázalo sa, že pre vysokú efektívnosť systémov umelej inteligencie sú rozhodujúce znalosti, kým formálny aparát pre riešenie úloh poskytuje len nástroje na využívanie znalostí.

V reálnych systémoch sa vyskytujú nelinearity, náhodnosť a veľa vzájomných vzťahov. Pre zložité systémy bolo potrebné nájsť nové princípy riadenia. Aplikovali sa neurónové siete, fuzzy logiky, genetické algoritmy, evolučné postupy.

Základom umelých neurónových sietí je modelovanie funkcie neurónu. Zložitosť modelu a počet neurónov určuje potom možnosti aplikácie.

Metódy založené na Fuzzy logike vychádzajú zo slovného (lingvistického, verbálneho) vyjadrenia pravidiel riadenia procesu.

Genetické algoritmy modelujú základné reprodukčné princípy živej hmoty. Ako technická disciplína sa stali jednou z ciest k umelej inteligencii. Základný princíp genetického algoritmu je v prispôbovaní sa riešenia systému okolitým podmienkam, ktoré sú naň kladené. Riešením sa rozumie taký stav systému, ktorý plne vyhovuje všetkým daným podmienkam a obmedzeniam. Prispôbovanie sa prebieha v generáciách pri využití princípov známych z biológie – prirodzený výber, kríženie a mutácie [2].

Existujú kombinácie uvedených a ďalších metód, ktoré dávajú nové nástroje zvyšovania kvality riadiacich algoritmov.

4.2 Senzorové systémy

Meraním sa zisťujú (kvantifikujú) charakteristiky predmetu alebo javu. **Merací systém** tvorí súhrn prvkov, ktoré zabezpečujú úlohy merania.

Informácia o hodnotách rôznych veličín sú dôležité nielen v automatizácii, ale i v iných odboroch ľudskej činnosti. Základ meracích systémov tvorí vstupná časť - **senzor**, ktorá mení meranú veličinu na spracovateľný, najčastejšie elektrický, signál. Problematika meracích systémov je spracovaná napr. v [3], [4].

Automatické riadenie systémov s aplikáciou spätnej väzby je možné len vtedy, ak informácia do riadiaceho systému prichádza automaticky, teda ak existujú automaticky pracujúce meracie systémy – **informačný podsystem**. Základnou úlohou informačného podsystemu je získanie aktuálnych procesných informácií o stave a časovom priebehu parametrov riadeného procesu v požadovanej kvalite pre účely automatického, operatívneho a ručného riadenia. Prvky meracej techniky, ktoré vytvárajú informačnú časť automatizovaných riadiacich systémov na prevádzkovej úrovni tvoria prevádzkovú, priemyselnú alebo procesnú meraciu techniku.

Vzhľadom na význam informácie o stave systému pre správne riadenie systému rozvíjajú sa nové technológie meracích systémov s označením SEVA (self-validating), ktoré súčasne s nameranými hodnotami udávajú aj odhad vlastnej presnosti merania.

Senzorové systémy sú nevyhnutnou súčasťou systémov zabezpečenia strojov. Tieto systémy možno rozdeliť do kategórií:

- kontrola prítomnosti v nebezpečných zónach,
- kontrola vstupu a výstupu z/do nebezpečných zón,
- kontrola priameho kontaktu s pohyblivou časťou strojného zariadenia,
- kontrola spoľahlivosti riadiaceho zariadenia.

Objavuje sa nový pojem „softverove senzory“ alebo deduktívne algoritmy. Ide o určenie hodnôt veličín, pre ktoré neboli vyvinuté snímače. Hodnoty veličín sú určené výpočtom na základe iných nameraných údajov. Vo výrobných systémoch sú podobné systémy používané na určenie hodnôt takých veličín, ktoré sa určujú len analýzou v laboratóriách. Softverove senzory sú obvykle realizované na báze neurónových sietí. Z uvedeného vyplýva, že softvérové snímače je potrebné natréňovať na podmienky konkrétnej technológie. Teda na rozdiel od hardverových snímačov nie je možné softverový snímač preniesť na iný systém.

4.2.1 Základné požiadavky na senzorové systémy

Senzorové systémy merajú stav samotného systému alebo i stav okolia systému. V robotike sa hovorí o snímačoch vnútornej a vonkajšej informácie. Sú veličiny v procesoch, ktoré je veľmi ťažko merať. Vtedy sa používajú alebo snímače iných veličín, ktoré súvisia s veličinou, ktorá sa mala merať alebo sa použije tzv. pozorovateľ.

Na senzory a celý merací reťazec sú kladené nasledovné požiadavky:

- jednoznačnosť vzťahu medzi meranou veličinou a výstupným signálom,
- presnosť – schopnosť dávať na výstupe pravé hodnoty signálu,
- lineárne prevodové charakteristiky medzi meranou veličinou a výstupným signálom zo snímača,
- stabilné charakteristiky, nezávislé na veľkosti signálov, na zmenách v okolí a pod.,
- neovplyvňovanie meraného zariadenia,
- minimálna dynamická chyba merania,
- minimálne rozmery a hmotnosti.

Sú i princípy merania veličín, ktoré vedú k systémom, ktoré nespĺňajú uvedené požiadavky. Do meracieho reťazca je vtedy zaradený člen, ktorý zabezpečuje automatickú korekciu chýb snímača.

Pomerne častou požiadavkou je tzv. **galvanické oddelenie snímača** od ďalších častí riadiaceho systému. Do meracieho reťazca je zaradený člen pre galvanické oddelenie obvodov.

4.2.2 Základná koncepcia meracích systémov

Uvádzajú sa nasledovné generácie senzorov:

Prvá generácia – využíva makroskopické princípy (mechanické, chemické,...). Metrologické vlastnosti sa dajú len obmedzene vylepšiť.

Druhá generácia – využíva elektronické javy najmä pre polovodičové senzory (piezo, fotoelektrické, povrchové akustické vlny). Vyznačujú sa vyššou citlivosťou, rýchlosťou, malými rozmermi.

Tretia generácia – veličiny pôsobia na svetelný lúč – svetlovodné senzory. Majú malé rozmery, veľkú rýchlosť odozvy, odolné voči rušeniu.

Meracie systémy môžu byť realizované ako analógové alebo ako diskrétné.

Senzory môžu byť rôzne delené. Podľa nosiča informácií:

- elektrické,
- neelektrické.

Jedno z delení vychádza z použitých princípov

- magnetické princípy,
- kapacitné princípy,
- optické princípy,
- akusticko-ultrazvukové princípy.
-

Merané veličiny

V systémoch automatického riadenia ide o veľmi širokú paletu veličín, ktoré je potrebné merať a následne na základe odchýlok od žiadaných hodnôt riadiť systém. Obvykle sú merané veličiny:

- mechanické (poloha, rýchlosť,...),
- tepelné,
- elektrické,
- magnetické,
- radiačné,
- chemické,
- atď.

Merané veličiny vyžadujú použitie snímačov s vhodným princípom merania, aby samotný snímač nebol zdrojom chýb. Ako bolo uvedené, niektoré veličiny nie je možné jednoducho automaticky merať, preto sa ich meranie nahrádza meraním iných, príbuzných, veličín alebo sa hodnota veličiny vypočítava.

4.2.3 Spracovanie signálov

V meracom reťazci je potrebná úprava signálov z viacerých dôvodov. Jednou z požiadaviek je korekcia charakteristík snímačov, ďalšou je komprimácia údajov z meracieho systému, ďalšou je zistenie medzných hodnôt signálov, ďalšou je filtrácia signálov a pod.

Na spracovanie signálov sa používajú analógové, ale hlavne číslicové systémy. Výkonnosť týchto systémov závisí od zložitosti úloh, ktoré sú stanovené v spracovaní signálov. Napr. analýzou signálov sa interpretuje priebeh meraných signálov v určitých bodoch amplitúdového, časového a frekvenčného zobrazenia. Z týchto charakteristík je možné získať informácie o procese, ktoré nemožno získať pomocou základných funkcií spracovania signálov. Sem patrí určenie stredných hodnôt údajov, určenie ich rozdelení, vzájomná korelácia a pod.

Pre spracovanie signálov boli vyvinuté špeciálne systémy DSP (Digital Signal Processing), ktoré majú vhodnú architektúru, vstupné a výstupné prevodníky a vysokú taktovaciu frekvenciu.

4.3 Komunikačné systémy

Komunikačné systémy sú veľmi dôležitou oblasťou techniky pre rozvoj všetkých oblastí života spoločnosti. Vo všetkých oblastiach sa zvyšujú požiadavky na objem prenášaných údajov, rýchlosť a spoľahlivosť prenosu informácií. Vzhľadom na ich význam sú vyvíjané neustále nové komunikačné a informačné technológie. V komunikačných systémoch predovšetkým v priemyselnom prostredí sa výrazne presadzujú systémy na báze optických svetlovodov.

V priemysle je potrebné aplikovať niekoľko úrovní komunikačných systémov. Na spodnej úrovni sú to **zbernice** typu Field, ktoré zabezpečujú komunikáciu medzi snímačmi, akčnými členmi a regulátormi. Vyššia úroveň môže byť riešená pomocou **lokálnej siete**, napr. Ethernet (obr.2.2). Komunikačná technológia Ethernet prináša do oblasti automatizačnej techniky štandardy zo sféry informačných technológií a jej rastúci význam má niekoľko dôvodov:

- umožňuje používať rovnakú komunikačnú techniku v kanceláriách i vo výrobe,
- zabezpečuje nezávislý a široko akceptovateľný štandard prenosu dát,
- podporuje koncepciu klient/server,
- umožňuje priame pripojenie výroby na komerčné prostredie.

Klasický Ethernet má prenosovú rýchlosť 10Mb/s, Fast Ethernet má rýchlosť 100Mb/s, tzv. gigabitový Ethernet prenáša 1000Mb/s a pripravený je Ethernet 10Gb/s.

4.3.1 Základné pojmy

Ako v iných oblastiach aj v komunikáciách sa vyvíjalo v rôznych firmách viacero systémov a zariadenia v priemysle nemohli jednoducho komunikovať. Aby sa predišlo problémom súvisiacim s používaním veľkého množstva nekompatibilných firemných štandardov, medzinárodná organizácia ISO (International Organization for Standardization) definovala model pre **komunikáciu otvorených systémov** OSI (Open System Interconnection). Cieľom OSI je optimálne prepojenie siete, v ktorej možno prenášať údaje medzi rôznymi miestami bez toho, aby sa musela robiť konverzia, s čím súvisí aj oneskorenie a poruchovosť.

Základné programové vybavenie siete je vhodné dekomponovať na hierarchicky usporiadané vrstvy. Každá vrstva zabezpečuje vymedzený okruh úloh. Každá vrstva využíva služby bezprostredne nižšej vrstvy, jej partnerom pri komunikácii je vrstva, ktorá sa v inom uzle

nachádza na rovnakej úrovni hierarchie vrstiev. Tieto rovnoľahlé vrstvy musia mať spoločné pravidlá komunikácie. Súbor pravidiel, ktoré rovnoľahlé vrstvy vrstvomého modelu používajú na vzájomnú komunikáciu tvoria protokol [5].

4.3.2 Základné zbernice

Zbernica Fieldbus sa využíva na prepájanie inteligentných zariadení alebo inteligentných snímačov s nadradenými zariadeniami napr. PLC, regulátormi, počítačmi.

Hlavným účelom zbernice AS-Interface (Actuator-Sensor-Interface) je zjednodušiť pripojenie veľkého množstva binárnych jednotiek (snímače a akčné členy s dvoma stavmi, ale aj ovládacie prvky), ktoré by inak vyžadovali veľké množstvo paralelných vodičov. Používa sa profilová dvojlinka, ktorá zariadenia napája a zároveň sa po nej prenášajú údaje i riadiace príkazy.

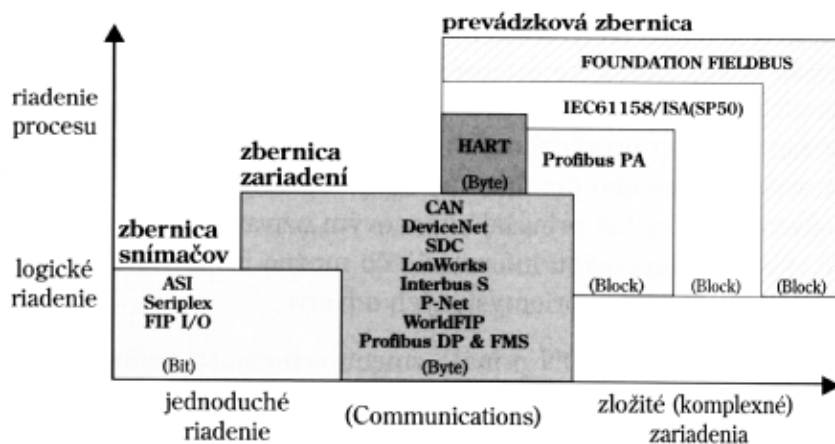
Zbernica CAN (Controller Area Network) bola vyvinutá s cieľom riešiť komunikáciu medzi jednotlivými komponentmi elektronického systému automobilov.

Priemyselná komunikačná sieť Profibus (PROces Field Bus) je v Európe jedným z najrozšírenejších štandardov. Vychádza z otvoreného komunikačného modelu ISO/OSI a je určená pre všetky oblasti automatizácie.

Zbernica WorldFIP je navrhnutá na prepojenie v automatizovaných systémoch medzi zariadeniami najspodnejšej úrovne a nadradenými zariadeniami. WorldFIP je možné použiť pre všetky typy aplikačných architektúr: centralizované, decentralizované a master-slave.

Zbernicové systémy sú určené na riadenie výroby, ale aj na realizáciu bezpečnostných funkcií. Jednoduchá ochrana personálu a zariadení vypnutím energie je nevyhovujúca – stroj je potrebné dobrzdiť, zastaviť. Umožňuje to napr. zbernicový systém SafetyBUS.

V prostredí priemyselnej automatizácie sa prijal model podniku s tromi prevádzkovými zbernicami – obr.4.4 [6].



Obr.4.4 Vzťahy medzi jednotlivými protokolmi (štandardami)

Iné zbernice

Okrem priemyselných zberníc sú ešte zbernice pre budovy. Na tieto kladené sú nasledovné požiadavky:

- rozsiahle možnosti vzájomnej spolupráce,
- minimálny objem prenášaných údajov,
- akcie sú spúšťané udalosťami,
- veľký počet komunikačných uzlov,
- nekritická reakčná doba,
- možnosť fyzického pokrytia rozsiahlych priestorov,
- flexibilita s ohľadom na zmenu topológie,
- vysoký stupeň udržovateľnosti.

V Európe je štandardnom EIB (European Installation Bus) a na americkom kontinente LonWorks.

4.4 Akčné členy

Akčný člen - AČ je súčasťou riadiaceho systému. Prenáša pôsobenie nízko výkonového riadiaceho systému na riadený systém (technologický proces, pracovný mechanizmus). Zabezpečuje riadenie množstva energie, materiálu, látok, surovín, ktoré sú vyjadrené kvantitatívne hmotnosťou, objemom, tlakom, teplotou alebo rýchlosťou pohybu médií.

Akčné členy automaticky pracujúcich systémov tvoria širokú skupinu. Patria sem servosystémy, ktoré obsahujú elektrické, hydraulické a pneumatické motory. Motor je prevodník energie napr. elektrickej na mechanickú.

Elektrické motory (stroje) sú častými výkonnými systémami riadiacich obvodov. Hlavnými časťami elektrického stroja je nepohyblivá časť - stator a pohyblivá časť – rotor (pri rotačných motoroch), ktoré sú oddelené vzduchovou medzerou.

Hydromotory sú stroje, ktoré menia tlakovú energiu hydraulického média na mechanický pohyb. Podobne to platí pre pneumatické motory. Realizované môžu byť s rotačným alebo lineárnym pohybom.

Akčné členy môžu byť pritom relatívne jednoduché (napr. ventily na riadenie prietoku v potrubiach) a zložitejšie napr. na riadenie pohybu obrábacích strojov, robotov a pod. Zložitý akčný člen má v sebe zabudované aj vnútorné regulačné obvody. Podľa toho či hodnoty akčnej veličiny sa nastavujú spojito alebo nespojito (diskrétne) rozlišujú sa spojité alebo diskrétne akčné členy.

4.4.1 Klasifikácia systémov

Klasifikácia systémov sa môže urobiť z rôznych hľadísk. Jedno z delení je podľa primárnej energie – elektrické, hydraulické, pneumatické. Ďalšie delenie môže byť podľa zložitosti systému – systémy s jednoduchou štruktúrou pre jednoduché aplikácie a systémy so zložitou štruktúrou pre náročné (náročnejšie) aplikácie. Ďalšie delenie môže byť podľa pohybu – rotačné, lineárne. Iné delenie hovorí o systémoch otvorených a o systémoch uzatvorených. Možno hovoriť o systémoch s analógovými, impulznými alebo číslicovými systémami riadenia. Podľa riadenej mechanickej veličiny sa hovorí o systémoch regulácie sily alebo momentu, rýchlosti a polohy.

Inteligentný akčný člen obsahuje vlastné mikropočítačové riadenie, ktoré zabezpečuje linearitu a stálosť parametrov, potlačenie poruchových signálov, monitorovanie akčného člena a komunikáciu s nadradeným systémom. Tendencia **decentralizovať inteligenciu** v automatizačnej technike sa prejavuje aj v elektrických pohonoch a ich riadení.

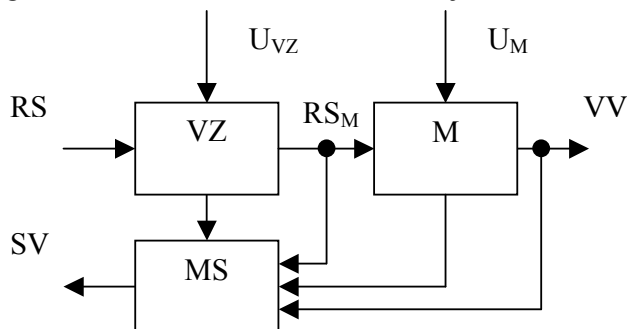
4.4.2 Bloky akčných členov

Akčné členy ako regulačné obvody obsahujú riadiaci člen, regulátory, výkonový člen a snímače. Systémy s viacerými akčnými členmi sú spojené v sieti a obsahujú aj príslušné komunikačné členy. Výkonový člen sám môže byť zložitým systémom. Pre jednoduchosť v ďalšom sa budeme zaoberať len výkonovými členmi, ktoré obsahujú motory.

Motory

Ako už bolo uvedené používajú sa elektrické, pneumatické a hydraulické motory. Na ozrejmienie základných vzťahov v systéme budeme sa venovať len elektrickým motorom.

Klasické elektrické motory sú jednosmerné a striedavé. Všetky sa vyznačujú dobrou riaditeľnosťou, jednoduchým privodom energie, vysokou rýchlosťou spracovania signálov, dobrou účinnosťou, malým hlukom atď. Riadenie týchto systémov je spojené s riadením elektrickej energie, ktorá je privádzaná do motora. V jednosmerných motoroch je to veľkosť napätia alebo veľkosť prúdu, v striedavých motoroch je to podobne napätie alebo prúd ale aj frekvencia daných signálov. Všeobecná bloková schéma je na obr.4.5



Obr.4.5 Bloková schéma akčného člena

V obr. je označené RS – riadiaci signál, U_{VZ} - napájacie napätie výkonového zosilňovača, U_M - napájacie napätie motora, RS_M – riadiaci signál motora, VV – výstupné výkonové signály motora, SV – signály spätnej väzby, VZ – výkonový zosilňovač, M – motor, MS – merací systém.

Výkonové zosilňovače

Výkonové zosilňovače motorov riadia energiu privádzanú do motora. Každý má svoju riadiacu a výkonovú časť.

Riadiaca časť je tvorená v súčasnosti väčšinou mikroprocesorom. Zabezpečuje prevzatie riadiaceho signálu a na základe algoritmov riadenia motora generovanie výkonových riadiacich signálov pre motor. Výkonová časť obsahuje polovodičové výkonové prvky, ktoré väčšinou pracujú v spínacom režime.

Výkonová časť môže byť napájaná z jednosmerného signálu a výstup je jednosmerný signál prípadne s možnosťou reverzácie, výstupný signál môže byť striedavý s riadenou amplitúdou a frekvenciou. Sú aj výkonové systémy, ktoré sú napájané zo striedavého napätia a výstupný signál je jednosmerný, prípadne s reverzáciou a sú systémy so striedavým výstupným signálom s inou frekvenciou ako je frekvencia napájajúcej siete.

Výkonové členy ako výkonové polovodičové systémy obsahujú obvody na ochranu proti prepätiam, proti prekročeniu dovoleného prúdu, proti nedovolenej zmene derivácie signálu.

Snímače akčných členov

Snímače akčných členov snímajú elektrické a neelektrické veličiny. V akčných členoch sú obvykle realizované regulačné obvody napätia, prúdu, zrýchlenia, rýchlosti a polohy. Meracie členy pritom sú analógové, impulzné a číslicové. V osobitných prípadoch sú realizované aj snímače teploty, magnetického poľa prípadne ďalšie.

Literatúra

- [1] Bradáč,Z.,Fiedler,P.: Návrh spoľahlivého softwaru pro řídicí účely. Automa č.-8, 2001.
- [2] Nekvinda,M.: Genetické algoritmy. Automatizace, č.10, 2001.
- [3] Šturcel,J.: Snímače a převodníky. STU 2002, Bratislava.
- [4] Toman,M.: Senzory v automatizácii. STU 1999, Bratislava.
- [5] Balogh,R., Bélai,I., Dorner,J., Drahoš,P.: Priemyselné komunikácie.STU 2001, Bratislava
- [6] Zielinski,M.: Čo to je "fieldbus". AT&P Journal. č.10, 2001.
- [7] Kalaš,V.,Jurišica,L.,Žalman,M.: Technická kybernetika elektrických pohonov. ALFA, 1978.
- [8] Kalaš,V. a kol.: Nelineárne a číslicové servosystémy. ALFA/SNTL, Bratislava 1985.

Otázky

- Aké je poslanie riadiaceho systému?
- Aké funkcie plní CNC riadenie?
- Vysvetlite podstatu činnosti Wattovho regulátora?
- Do akej kategórie regulátorov patrí Wattov regulátor?
- Aké vlastnosti má operačný zosilňovač?
- Aké sú základné bloky v štruktúre počítačového riadenia?
- Aká je základná požiadavka na riadiaci systém a ktoré časti riadiaceho systému ju ovplyvňujú?
- Čo je PLC a čo ho charakterizuje?
- Aké vlastnosti má mať operačný systém reálneho času?
- Vymenujte niektoré zásady uplatnené pri tvorbe spoľahlivého softveru?
- Čo je algoritmus?
- Čo je algoritmizácia?
- Ako možno charakterizovať umelú inteligenciu?
- Aké sú súčasné riadiace algoritmy?
- Aké sú základné úlohy informačného podsystemu automatického systému?
- Ako sa dajú charakterizovať softverové senzory?
- Aké požiadavky sú kladené na senzorové systémy?
- Aké sú generácie senzorov?

- Aké sú úlohy spracovania signálov?
- Aké sú výhody použitia Ethernetu v riadiacich systémoch?
- Čo je cieľom OSI?
- Čo je protokol?
- Aké sú základné zbernice v priemysle?
- Aké sú zbernice v inteligentných budovách?
- Čím je charakterizovaný akčný člen?
- Ako možno klasifikovať akčné členy?
- Čo charakterizuje inteligentný akčný člen?
- Aké bloky obsahuje schéma akčného člena?
- Charakterizujte výkonové zosilňovače pre akčné členy?
- Aké snímače sú potrebné v akčných členoch?

5 Ekonomika

Cieľom kapitoly je definovať základné prínosy automatizácie a prístupy k ekonomickým efektívnym riešeniam automatizácie.

V minulých obdobiach bola stratégia riadenia výroby zameraná na dosiahnutie maximálneho objemu výroby. V diskkrétnej výrobe boli vyvinuté **systemy tvrdej automatizácie**, v ktorých síce bola výroba vysoko efektívna, ale len pri veľkých a nemeniacich sa sériách výrobkov. Dnes sa požadujú zmeny v sortimente výrobkov a vyžaduje sa preto **pružná automatizácia**.

Uvádza sa, že výkon človeka je okolo 74W. Porovnanie ceny mechanickej práce človeka a stroja sú evidentne v prospech strojov, keď sa uvažuje len cena za prácu. Iné porovnanie môže byť v prípade uvažovania nákladov na stavbu systému a jeho údržbu. Iné výsledky sú zase pri uvažovaní kvality, objektívnosti vykonávania práce a trvalosti výkonu strojov.

Ekonomická efektívnosť zmien vo výrobe vyžaduje dôkladné zhodnotenie všetkých potrebných aktivít. Pre systémy je potrebné vypracovanie úplného projektu automatizácie na základe odôvodnených vstupných údajov pre projektovanie technického riešenia, ekonomickej efektívnosti, personálneho zabezpečenia.

Analýza **rizika projektu** má viesť ku korekcii projektu, ktorou sa zvýši pravdepodobnosť dosiahnutia úspechu. Analýza rizika je v 5 fázach [1]:

- stanovenie funkčnej závislosti kritéria rozhodovania na ovplyvňujúcich veličinách,
- stanovenie faktorov rizika a ich významnosti,
- stanovenie rozdelenia pravdepodobností faktorov rizika,
- konštrukcia rozdelenia pravdepodobnosti uvažovaného kritéria rozhodovania,
- vyhodnotenie rizika projektu.

Pre úplnosť by bolo potrebné na tomto mieste zdôrazniť význam právnej ochrany výsledkov tvorivej inžinierskej činnosti. Pre efektívne ekonomické využitie týchto výsledkov je potrebná ich ochrana formou patentu prípadne iným spôsobom.

5.1 Ekonomická efektívnosť automatizácie

Zavedením automaticky pracujúcich systémov sa zlepši využitie celého riadeného systému (plôch, strojov, zariadení,...), čo vedie k zvýšeniu vyťaženia systému a zvýšeniu nárastu výroby. Automatické systémy poskytujú manažmentu aktuálne informácie pre rozhodovania a riadenie. Automatické riadenie umožňuje dosiahnuť úspory energie pri optimalizácii riadenia procesov.

Ekonomická efektívnosť závisí na cene automatického zariadenia a na množstve výroby, ktorá bude na zariadení vyrobená počas jeho životnosti. Z takýchto hľadísk i tu sa javí výhodné realizovať **modulárne a pružné výrobné systémy**, ktoré jednak môžu bez zmeny hardveru realizovať výrobky určitej triedy a ktoré umožňujú modifikovať vždy len nevyhnutnú časť systému.

5.2 Prínosy automatizácie

Základné prínosy automatizácie boli uvedené už v prvej kapitole. Automatizácia je jedným z rozhodujúcich faktorov hospodárskeho rastu. Objektivizuje riadenie procesov.

Automatizácia ovplyvňuje postavenie a funkcie človeka v pracovnom procese. S rozvojom automatizácie sa mení rozloženie funkcií medzi človekom a strojom. Fyzické a formalizované duševné pracovné funkcie prechádzajú postupne na technické systémy. Do popredia sa dostávajú duševné tvorivé činnosti pracovníkov.

Nasadzovanie automatizácie prináša náklady jednak z hľadiska investícií do prestavby technológie, do návrhu nových výrobkov, do vzdelania pracovníkov, atď. Zavedenie automatizácie má však celý rad podstatných prínosov:

- podstatné zvýšenie akosti výroby,
- skrátenie doby výroby a možnosť dynamicky reagovať na požiadavky trhu,
- zabezpečenie vysokej výrobnosti,
- zníženie výrobných nákladov.

Podstatným prínosom pre mnohé technológie je to, že bez automatického riadenia by sa vôbec nedali realizovať. Vyplýva to z toho, že človek má dlhé reakčné doby v porovnaní s dynamikou procesov. Ďalším dôvodom je to, že mnohé procesy bežia dlhú dobu a vyžadujú trvalé riadenie.

Prínosy robotizácie sú zo zrejmých dôvodov podobné prínosom všeobecnej automatizácie:

- zvýšenie produktivity, priemyselné roboty pracujú nepretržite a s vyššou intenzitou ako dokáže človek,
- stabilita a zvýšenie kvality výroby, čo sa dosiahne odstránením človeka z priameho riadenia (vykonávania) procesov,
- zdokonalenie riadenia výroby, zavedením metód riadenia pružnej výroby,
- humanizácia práce, nahradením človeka pri nebezpečných prácach, v zdraví škodlivom prostredí,
- šetrenie zdrojmi, znížením nepodarkov, lepšie využitie materiálov (napr. pri povrchových úpravách).

Zavedenie automatizácie je obvykle efektívne ak sa komplexne prehodnotí a na základe toho rekonštruuje celý proces. Ak je potrebné zmení sa technológia, zmení sa výkon systému, zmení sa organizácia procesov. Zavedenie automatizácie zníži počet pracovníkov s nižšou kvalifikáciou, ale vyžaduje odborníkov na nastavovanie a údržbu automatických systémov.

5.3 Problémy pri zavádzaní automatizácie

Budúci užívatelia majú malú znalosť o princípoch a prínosoch automatizácie. Z toho potom vyplýva neschopnosť urobiť zámer, návrh projektu automatizácie. Vzhľadom na šírku možností nasadenia automatizácie je nutné mať kvalitne pripravenú koncepciu komplexnej automatizácie podniku. Pre prípravu takéhoto dokumentu je potrebné dokonale poznať technológiu, výrobky, princípy a možnosti automatizácie. Projekt automatizácie by mala pripraviť skupina odborníkov, ktorá bola definovaná v kapitole o projektovaní.

Jednou z podstatných informácií pri príprave projektu automatizácie je analýza, prečo sú dané výrobky neschopné konkurencie. Príčin môže byť viacero a preto je potrebné na získanie pravdivej a užitočnej odpovede veľa znalostí a praktických skúseností.

Zavedenie automatizácie je nákladné. Je preto veľmi dôležité zhodnotenie prínosov automatizácie a nasadenie automatizácie na proces, ktorý je výhodné automatizovať. Významné je, že automatizácia môže priniesť ako pružnosť vo výrobe, tak nepružnosť. Záleží na projekte a realizácii projektu. Z pohľadu pružnosti sú výhodné systémy s modulárnou stavbou.

Literatúra

- [1] Pastor, O.: Nástroje modelování ekonomického rizika investičních projektů. Automatizace č.3, 2002.
- [2] Suchý, K.: INTERKAMA 2001 – automatizace vyžaduje komplexní přístup. Automa č.6, 2001.
- [3] Mařík, V.: Trendy v komplexní automatizaci. Automa č.7, 2000

Otázky

- Aké sú problémy analýzy rizika projektu?
- Aké sú hľadiská pre určenie ekonomickej efektívnosti automatizácie?
- Aké sú prínosy automatizácie?
- Aké sú prínosy robotizácie?
- Aké sú základné problémy pri zavádzaní automatizácie?
- Aký význam má modulárna stavba systémov automatického riadenia?

6 Normy - normotvorná činnosť v automatizácii

Normy a štandardizácia sú jednou z nevyhnutných podmienok úspešnej automatizácie. Cieľom je opísať základné dokumenty, ktoré platia pre oblasť automatizácie.

Táto problematika je spracovaná napr. v [1], [2]. **Technické normy** sú dokumenty, na ktorých sa dohodli výrobcovia a užívatelia. Obsahujú technické parametre alebo iné presne stanovené kritéria, ako napr. pravidlá, postupy a užitočné vlastnosti, ktorých cieľom je zaručiť vhodnosť daných materiálov, výrobkov alebo služieb pre požadovaný účel.

Cieľom zavedenia noriem je zvyšovať efektívnosť výroby, spoľahlivosť a efektívnosť tovarov a služieb a prostredníctvom akceptovania úrovne kvality ochraňovať záujmy spotrebiteľov. Zavedením noriem sa zvyšuje kompatibilita a vzájomná zameniteľnosť tovarov a služieb.

Svetovú a európsku normalizačnú činnosť zastrešujú hlavne spoločnosti ISO, IEC, CEN a CENELEC.

Názov ISO nie je skratka, ale slovo odvodené z gréckeho "isos", čo znamená "rovnaký". Plný názov spoločnosti v angličtine je International Organization for Standardization. ISO je celosvetová organizácia, ktorá pokrýva svojimi aktivitami technickú normalizáciu vo všetkých oblastiach, okrem elektrotechniky, elektroniky a telekomunikácií. Túto oblasť spravuje Medzinárodná elektrotechnická komisia IEC (International Electrotechnical Commission), ktorá s ISO spolupracuje cez komisie JTC (Joint Technical Commission). Hlavná normalizačná činnosť prebieha v technických komisiách (TC - Technical Committee).

Vytváranie noriem z oblastí priemyselnej automatizácie a integrácie dotýkajúce sa diskkrétnej časti výroby riadi komisia TC 184 Priemyselné automatizačné systémy (Industrial Automation Systems), pričom zahŕňa aplikácie viacerých technológií, napr. informačné systémy, stroje a zariadenia a tiež telekomunikácie. Nepatria sem elektrické a elektronické zariadenia, ktoré prevzala práve IEC.

Vlastná činnosť IEC je realizovaná cez tzv. technické výbory (TC) a normalizačná činnosť v oblasti automatizačných prostriedkov je hlavnou náplňou práce technickej komisie TC 65 Meranie a riadenie priemyselných procesov (Industrial-Process Measurement and Control). Hlavná komisia TC65 má kompetencie na vypracovanie medzinárodných noriem pre systémy a prvky priemyselnej riadiacej techniky s prihliadnutím na Batch (dávkovacie) a Konti (kontinuálne) procesy a ďalšie koordinovanie noriem pre prístroje a systémy na meranie, riadenie a reguláciu.

Okrem normalizácie sa IEC zaoberá aj skúšobníctvom, kde sa dohodami o vzájomnom uznávaní certifikátov a skúšok zabraňuje viacnásobnému skúšobnému procesu jedného výrobku, či služby. Preto je aj v tejto oblasti veľmi dôležitá medzinárodná spolupráca.

Cieľom európskej normalizácie je vytvoriť jednotný systém noriem spĺňajúcich moderné požiadavky, ktoré pôsobia na jednotnom európskom trhu. To je úloha európskej normalizačnej inštitúcie CEN/CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) a ETSI (European Telecommunications Standard Institute) - telekomunikácie. Vlastne je to príprava a realizácia jednotného, koherentného systému dobrovoľných a harmonizovaných elektrotechnických noriem v oblasti elektrotechniky a skúšobníctva. Treba však poznamenať, že európske normy CENELEC sa často prekrývajú, ba sú totožné s normami ISO/IEC. V tejto oblasti platí zásada, ak je prijatá norma členmi

CEN/CENELEC, tj. norma EN (európska), potom musí byť táto prijatá aj ako národná norma, pričom preklad musí presne odpovedať obsahu originálu.

Slovenská republika je v súčasnosti (rok 2000) riadnym členom organizácií ISO, IEC, ETSI, a pridruženým členom CEN a CENELEC.

Zabezpečenie štátnej politiky v oblasti technickej normalizácie v SR vykonáva Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky (ÚNMS SR), ktorý patrí k ústredným orgánom štátnej správy. Na podporu svojej činnosti ÚNMS zriadil Slovenský metrologický ústav (SMÚ) pre vedeckú metrológiu, tvorbu a spravovanie štátnych etalónov a Slovenský ústav technickej normalizácie (SUTN), ktorý je národným normalizačným orgánom.

V Európskej únii (EÚ) je záväzný právny predpis tzv. **technický predpis**, ktorý charakterizuje vlastnosti výrobku alebo služby pričom norma je nezáväzný, odporúčajúci dokument. Toto postavenie noriem môže byť príslušným predpisom zmenené na povinné používanie. Na Slovensku majú normy podobné postavenie ako v EÚ, tj. normy STN sú vo všeobecnosti nezáväznú, pokiaľ zákon nestanoví inak. Z tohto dôvodu je vypracovaný zoznam záväzných noriem STN, ktorý je usporiadaný podľa jednotlivých orgánov štátnej správy.

Technické normy pre riadiace systémy a procesné meranie (základný prehľad IEC, ISO, STN)

Číselný kód STN normy sa skladá zo šesťčíslika. Prvá dvojica charakterizuje triedu normy, napr. 18 Priemyselná automatizácia, druhá dvojica udáva skupinu, napr. 01 Názvoslovie, všeobecné pojmy a posledná dvojica zoraďuje normy podľa poradia v skupine. V ďalšej časti je uvedený stručný prehľad noriem dotýkajúcich sa hlavne meracej techniky v automatizácii (rok 2001).

STN IEC 381-1 (18 0110) Analógové signály pre systémy riadenia procesov. Časť 1- jednosmerné prúdové signály

STN IEC 381-2 (18 0111) Analógové signály pre systémy riadenia procesov. Časť 2- jednosmerné napät'ové signály

IEC 382: 1991 Analógový pneumtický signál pre automatizáciu.

STN IEC 946 (18 0112) Dvojkové jednosmerné napät'ové signály pre systémy merania a riadenia procesov

STN IEC 654 (18 0421) Prevádzkové podmienky pre meracie a riadiace zariadenia priemyselných procesov

STN IEC 902 (18 0000) Automatizácia. Meranie a riadenie priemyselných procesov

STN 18 0003 Automatizácia: Elektrické technické prostriedky

STN IEC 801 (18 0014) Elektromagnetická kompatibilita zariadení na meranie a riadenie priemyselných procesov

IEC 584 Termoelektrické články

IEC 751 : 1993 Priemyselné platínové odporové snímače teploty

STN IEC 770 (18 1078) Metódy hodnotenia prevádzkyschopnosti vysieláčov pre riadiace systémy priemyselných procesov

IEC 1158-2 Priemyselná zbernica pre priemyselné riadiace systémy, fyzická vrstva (len pre Profibus -PA, Process Automation, napájanie po prenosovom vedení)

STN EN 50020 (33 0380) Nevýbušné elektrické zariadenia. Iskrová bezpečnosť "i"

STN ISO 3511 Funkčné značenia merania a riadenia v priemyselných procesoch

STN 01 01 15 Názvoslovie v metrológii

STN 0 1 1 300 Zákonné meracie jednotky

Ďalšie normy:

STN 18 0023 Prostriedky merania a riadenia technologických procesov. Všeobecná požiadavka na spoľahlivosť. 1991.

STN 18 0092 Automatizácia. Sprievodná dokumentácia technických prostriedkov. 1986.

STN ISO 3592 Číslicové riadenie strojov. Výstupné údaje z procesora číslicového riadenia. Logická štruktúra a hlavné slová. 1991.

STN ISO 4343 Číslicové riadenie strojov. Výstupné údaje z procesora číslicového riadenia. Vedľajšie prvky záznamu typu 2000 1991.

STN ISO 2806 Číslicové riadenie strojov. Slovník. 1993.

STN ISO 4342 Číslicové riadenie strojov. Vstupné údaje z procesora číslicového riadenia. Základný a referenčný jazyk pre program opracovania obrobku. 1993

STN ISO 6983 Číslicové riadenie strojov. Formát programu a definícia adres. Časť 1: Formát údajov pre polohovacie, pravouhlé a súvislé riadiace systémy. 1992.

STN 18 6501 Manipulačné priemyselné roboty. Slovník. 1993.

STN ISO 9283 Manipulačné a priemyselné roboty. Pracovné charakteristiky a zodpovedajúce skúšobné metódy. 1995

STN 18 6503 Priemyselné roboty. Súradnicové systémy a pohyby.

STN EN 775 Manipulačné a priemyselné roboty. Bezpečnosť 1995

STN 18 6505 Priemyselné roboty. Klasifikácia. 1987

STN EN 29946 Manipulačné priemyselné roboty. Prezentácia charakteristík. 1996.

STN 18 6507 Priemyselné roboty. Rady menovitej nosnosti. 1987.

STN 18 6508 Priemyselné roboty. Všeobecné technické požiadavky. 1990.

STN 18 6509 Priemyselné roboty. Mechanické prepojenia. Kruhové mechanické prepojenia. 1990.

STN 18 6510 Priemyselné roboty. Technické požiadavky. 1988

STN 18 6511 Priemyselné roboty. Cyklické, polohové a dráhové riadiace systémy. Technické požiadavky a metódy skúšok. 1988.

STN 18 6520 Stavebnicovo-modulárne priemyselné roboty. Výkonné moduly. Klasifikácia. 1989.

Medzinárodný štandardizačný proces zameraný na bezpečné riadiace systémy je vedený primárne normou IEC 1508, ktorá definuje kvantitatívne požiadavky na ochranné systémy.

Vzhľadom k dôležitosti a častej požiadavke hodnotenia vlastností meracích členov (meracích kanálov, prevodníkov, senzorov) riadiacich systémov má významné postavenie v praxi norma

STN IEC 770. Norma STN IEC 770 je vlastne preklad normy IEC 770, 1984 a má formu odporúčania pre medzinárodné používanie. Jej účel spočíva v špecifikovaní jednotnej skúšobnej metódy na hodnotenie prevádzkovej schopnosti meracích členov (vysielačov, senzorov alebo sensorových systémov) s unifikovanými elektrickými alebo pneumatickými výstupnými signálmi. Metódy hodnotenia špecifikované v tejto norme sú vhodné, tak pre výrobcov na určenie prevádzkovej schopnosti ich výrobkov, ako aj pre užívateľov, prípadne pre nezávislé skúšobné orgány na overenie prevádzkovej schopnosti meracích členov uvádzanej výrobcami. V norme sú definované základné termíny ako konformnosť, mŕtve pásmo, hysteréza, rozsah, rozpätie, opakovateľnosť, a pod. Uvedené sú všeobecné skúšobné postupy pri určovaní statických a dynamických vlastností meracích členov.

Literatúra:

- [1] Šturcel,J.: Snímače a prevodníky. STU 2002, Bratislava.
- [2] Balogh,R.: Normalizácia v automatizácii. AT&P Journal. č.3, 1997.

Otázky:

- Čo sú technické normy?
- Čo je cieľom zavedenia noriem?
- Čomu sa venuje IEC?
- Aká je závažnosť noriem a technických predpisov?

7 Princípy projektovania automatických riadiacich systémov

Cieľom je uviesť základné pojmy, metódy a postupy projektovania automatických systémov riadenia procesov.

Projektovanie sa týka ako výroby tak výrobkov. Ide o **predvýrobné etapy** prípravy výroby. Nutnou podmienkou na začiatku predvýrobných etáp je stanovenie požiadaviek na funkčné a ďalšie vlastnosti vrátane požiadaviek na spoľahlivosť systému. Sú to zložité úlohy, ktoré vyžadujú počítačovú podporu. Používajú sa už skôr uvedené CAE systémy.

Projektovanie automaticky pracujúcich systémov vyžaduje vzhľadom na komplexnosť úloh systémový prístup. Tradičný tím pre projektovanie bol zložený z technológa automatizovanej prevádzky a špecialistu na automatizáciu. Vývoj v zložitosti systémov vyžaduje vyššiu špecializáciu a dnes sa predpokladá, že **projekčný tím** je zložený z technológa automatizovanej prevádzky, odborníka na priemyslovú automatizáciu, špecialistu na číslicovú techniku (HW a SW) a systémového inžiniera. V rozsiahlejších projektoch každá profesia môže byť zastúpená skupinou odborníkov. V tom prípade jednotliví členovia tímu sú špecialistami v užšej oblasti. Odborníci na číslicovú techniku môžu byť osobitne na softver a osobitne na hardver. Odborníci na priemyslovú automatizáciu môžu byť špecialisti na projektovanie, programovanie, meranie a reguláciu, logické riadenie. Kľúčovú úlohu má systémový inžinier, ktorý má mať vysokú kvalifikáciu, široký rozhľad, dlhodobé skúsenosti, komunikačné a organizačné schopnosti.

7.1 Čo je projekt

Automatizačný projekt je súbor činností vykonávaných v marketingu, obchode, projektovaní, konštrukcii, logistike, programovaní, montáži, nastavovaní a následne servise s cieľom navrhnuť, oživiť a udržať v chode automatizovaný systém riadenia fungujúci nad určitým objektom na základe objednávky [1]. Hlavné etapy života automatizačného projektu sú:

- ponuka,
- vyjednávanie,
- obchodný prípad,
- odovzdanie diela,
- záručný a pozáručný servis.

Už vzhľadom na skôr uvedené zloženie tímu je zrejmé, že projekt bude mať viacero častí. Uvádza sa, že automatizačný projekt je komplex technických, ekonomických a sociálnych aspektov. Automatizačný projekt vyžaduje inžinierske služby (projekčné práce, montážne a inštalačné práce, vývoj aplikačného softveru, uvedenie softveru do prevádzky, školenie, servis) a dodávky automatizačnej techniky.

V [3] sú zložky projektu uvedené nasledovne:

- stanovenie účelu a cieľu automatizácie,
- určenie automatizovaných činností,
- naplánovanie dielčích termínov na jednotlivé činnosti a dielčích nákladov na činnosti,
- stanovenie celkových nákladov a zachytenie ich časového priebehu,
- určenie, kto, kedy čo a ako vykoná,
- zistenie, aké prostriedky sú potrebné na zabezpečenie činnosti,
- realizácia a riadenie naplánovaných činností,
- stanovenie a analýza rizík.

7.2 Základné postupy a úlohy

Pri tvorbe projektu sa vychádza predovšetkým z nasledovných informácií [1]:

- opis riadenej technológie,
- opis požadovaných funkcií a ďalších technických špecifikácií od objednávateľa,
- dispozícia pracoviska,
- pripojenia na médiá,
- inštalované výkony,
- regulačné úlohy,
- inštalovaná elektrovýzbroj,
- požiadavky na prevedenie a bezpečnosť.

Pri návrhu zariadenia je potrebné uvažovať so zabezpečením spoľahlivosti systému. Pritom sú obvyklé nasledovné pojmy. **Riadenie spoľahlivosti** – metódy a postupy, ktorými sa dosahuje splnenie požiadaviek na spoľahlivosť. **Zabezpečovanie spoľahlivosti** – realizácia plánovaných a systematických aktivít, postupov a činností, na dosiahnutie primeranej istoty, že výrobok splní požiadavky na spoľahlivosť. **Zlepšovanie spoľahlivosti** – realizácia systematických a dlhodoboprevádzaných činností so zámerom zlepšiť bezpečnosť, bezporuchovosť, udržateľnosť a pod. odstraňovaním príčin systematických porúch, znižovaním pravdepodobnosti výskytu iných porúch a pod. Postupy a prostriedky možno rozdeliť do dvoch skupín [2]:

- prepracovanie koncepcie systému, architektúry a štruktúry z hľadiska spoľahlivosti pri návrhu a následnými opatreniami pre ostatné obdobia životného cyklu,
- voľba a využitie rôznych spôsobov, foriem, rozsahu a stupňa nadbytočnosti.

7.3 Nástroje projektovania

Jednoduché projektovanie systémov je možné bez podporných prostriedkov. Rozsiahlejšie systémy a zložitejšie systémy vyžadujú použitie výpočtovej techniky a príslušného programového vybavenia. Ide o CAD resp. CAE systémy.

Pri projektovaní sa vychádza zo zadaných požadovaných parametrov a používajú sa návrhové systémy, ktoré umožnia vybrať optimálne riešenie. Súčasťou návrhových algoritmov sú preto rozhodovacie algoritmy výberu optimálneho riešenia.

Pre mechatronické systémy sa predpokladá vytvorenie tzv. **mechatronických kompilátorov**, ktoré by robili komplexný projekt systému, s optimálnym výberom všetkých subsystémov mechatronického systému.

Pre návrh zložitých systémov sa uplatňujú návrhové expertné systémy. Expertný systém je počítačový program simulujúci rozhodovacia činnosť experta pri riešení zložitých úloh využívajúci vhodne zakódované explicitne vyjadrené špeciálne znalosti prevzaté od experta, s cieľom dosiahnuť vo zvolenej oblasti kvalitu rozhodovania na úrovni experta.

Literatúra

[1] Bezchleba, Z.: Týmová spolupráce a standardizace při řešení automatizačního projektu. Automa č.6, 2002.

[2] Mykiska, A.: Zabezpečování spolehlivosti technických systémů v období návrhu. Automa č.12, 2001.

[3] Lacko,B.: Praxe a výuka automatizace, systémové přístupy a učebnice. Automa č.5-6, 2002.

Otázky:

- Aké je zloženie tímu projektantov automatického systému?
- Čo je projekt?
- Aké sú zložky projektu?
- Čo je riadenie spoľahlivosti?
- Čo sa rozumie pod mechatronickým kompilátorom?
- Čo je expertný systém?

8 Príklady systémov

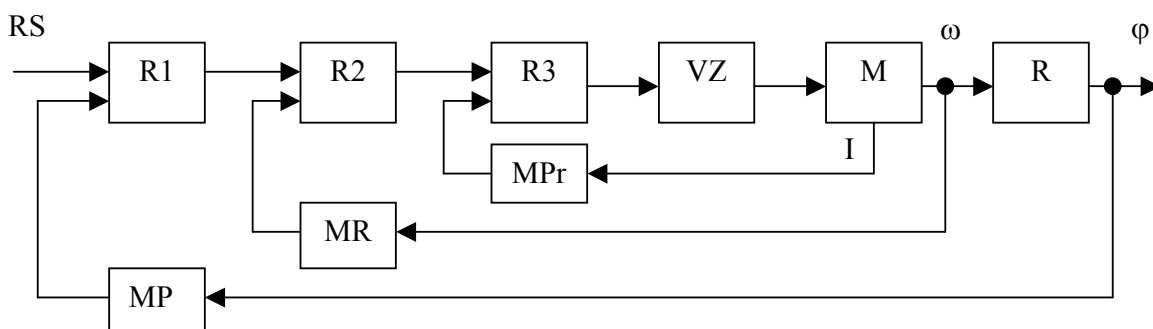
Aplikačné oblasti automatizácie sú široké. Automaticky pracujúce systémy sú v domácnostiach (regulácia teploty, automatické systémy v spotrebičoch,...), v priemysle, v poľnohospodárstve, v administratíve, v medicíne, vo výskume, Sú všeobecné princípy a metódy a sú špecifiká jednotlivých aplikácií. Preto je aj automatizácia predmetom štúdia na rôznych fakultách.

Tu sú uvedené len príklady automaticky pracujúcich systémov. Nie je tu uvedená ani analýza, ani modelovanie ani syntéza systémov. Ale uvedené príklady poukazujú na rôznorodosť riešených úloh.

8.1 Príklad riadenia servosystému

Servosystém je zariadenie na reguláciu polohy a jej derivácií. Servosystémy sú preto nevyhnutnou časťou každého pohybového systému.

Obvyklé zapojenie servosystému s jednosmerným motorom je na obr.8.1

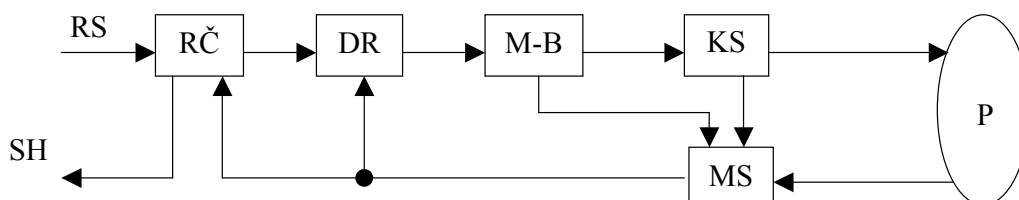


Obr.8.1 Bloková schéma servosystému

Na obr.8.1 je R1 – regulátor polohy, R2 – regulátor rýchlosti, R3 – regulátor prúdu, VZ – výkonový zosilňovač, M – motor, R – reduktor, MPr – merací člen prúdu, MR – merací člen rýchlosti, MP – merací člen prúdu, RS riadiaci signál, ω – uhlová rýchlosť, ϕ – poloha.

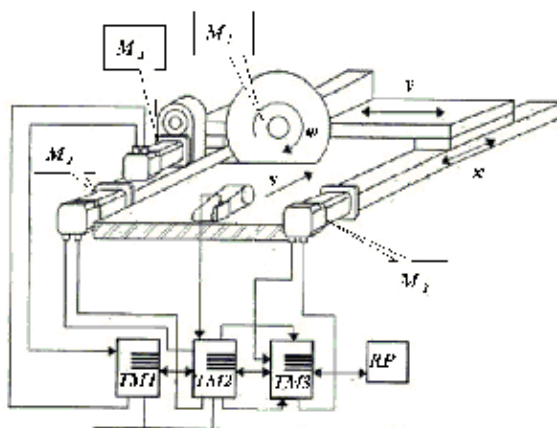
Schémy zapojení iných typov motorov sú samozrejme iné. Spoločné je to, že často sa používa tzv. **kaskádové zapojenie regulátorov**, keď napr. regulátor polohy nastavuje žiadanú hodnotu regulátora rýchlosti a regulátor rýchlosti nastavuje žiadanú hodnotu regulátora prúdu.

Všeobecná blokovaná schéma servosystému robota je na obr.8.2.



Obr.8.2 Všeobecná blokovaná schéma servosystému robota

Na obr.8.2 je: RS – riadiaci signál, SH – spätné hlásenie, RČ – riadiaci člen, DR – dynamické regulátory, M-B – motory a brzdy, KS – kinematická schéma, MS – merací systém, P - prostredie.

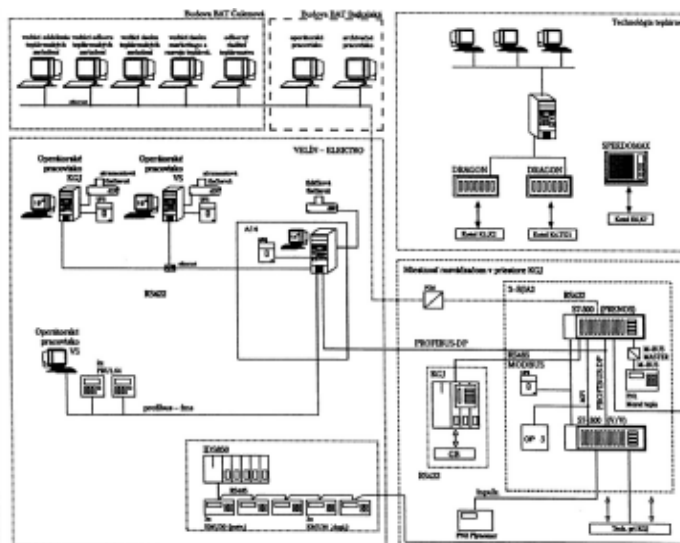


Obr.8.3 Príklad servosystému riadenia tzv.letmej píly

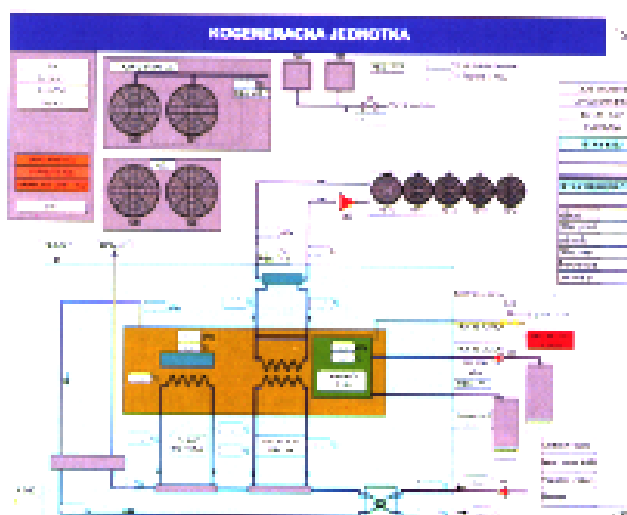
Úlohou servopohonu ako priemyselného zariadenia je uviesť poháňaný pracovný mechanizmus (stroj) predpísaným spôsobom do určeného pohybového stavu tak, aby bola pracovným mechanizmom realizovaná požadovaná technologická operácia alebo zaistený požadovaný technologický proces. Jednotlivé funkcie pohonov možno analyzovať na príklade letmej píly zobrazenej na obr. 8.3. [1]. V schéme sú zobrazené 4 pohony M_1 až M_4 . Servopohon M_1 realizuje lineárny pohyb píly v osi „y“. Servopohony M_2 a M_3 zabezpečujú synchronizovaný lineárny pohyb portálu v osi „x“, na ktorom je umiestnená okružná píla. Otáčanie okružnej píly zabezpečuje autonómny pohon M_4 . Uhol otočenia kotúča píly charakterizuje veličina φ . Tento pohon nevyžaduje regulovaný polovodičový akčný člen. Servopohony M_1 až M_3 sú regulované pohony a sú riadené a napájané z meničov TM_1 až TM_3 . Riadenie procesu letného pílenia zabezpečuje nadradený riadiaci počítač – označený blokom RP. Lineárny pohyb „s“ rezaného materiálu je snímaný snímačom polohy (v danej aplikácii sa využíva resolver). Riadenie pohybu materiálu nie je predmetom riadiaceho systému píly.

8.2 Príklad riadenia kogeneračnej jednotky

Kogeneračné jednotky sú vysoko efektívne zariadenia so spaľovacími motormi, ktoré „vyrábajú“ elektrickú energiu a vznikajúce teplo je ďalej využívané. Systém môže obsahovať nasledovné časti: vyvedenie elektrického a tepelného výkonu, prípojku zemného plynu, olejové hospodárstvo, suché chladenie palivovej zmesi, vzduchotechniku, systém kontroly a riadenia prevádzky [2]. Na nasledujúcich obrázkoch je štruktúra informačno-riadiaceho systému kogeneračnej jednotky a hlavná obrazovka technológie.



Obr.8.4 Informačno-riadiaci systém kogeneračnej jednotky

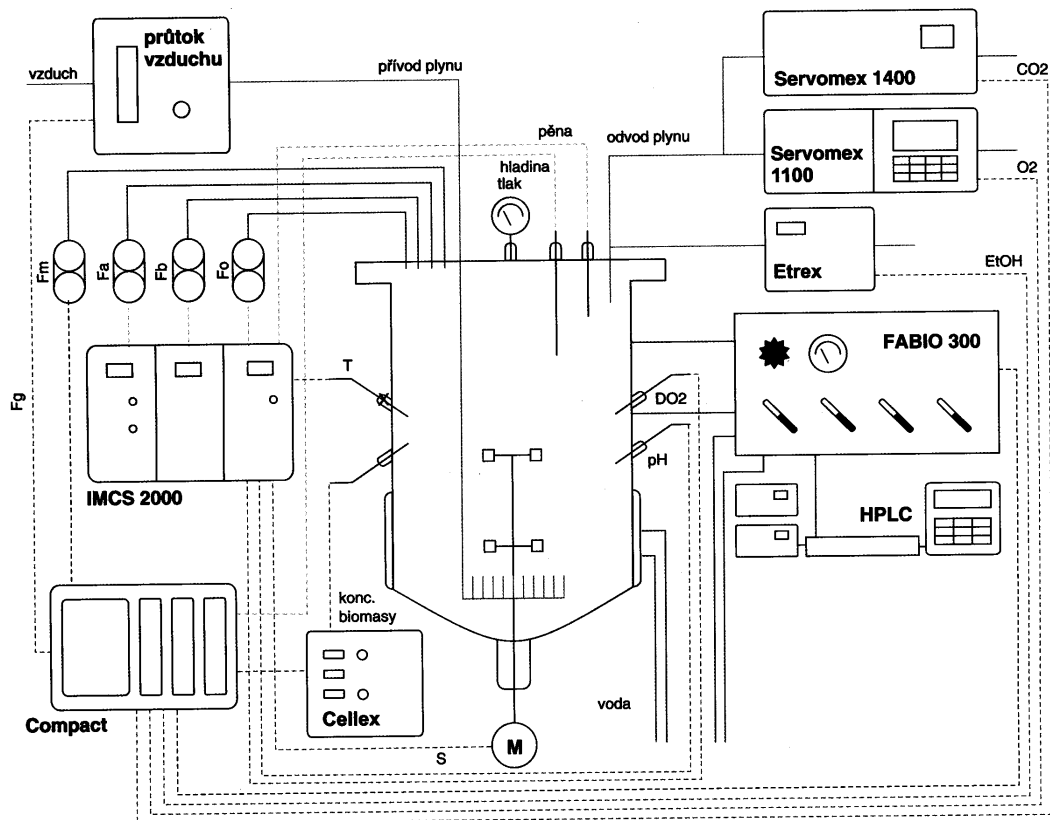


Obr.8.5 Hlavná obrazovka technológie kogeneračnej jednotky

8.3 Príklad riadenia biotechnologického procesu

Riadiaci systém bioreaktora IMCS 2000 umožňuje meranie a reguláciu teploty, pH, otáčok miešacieho mechanizmu a výšky peny a meranie koncentrácie rozpusteného kyslíka. Samostatným regulátorom je udržiavaný prietok vzduchu do bioreaktora. Obsah kyslíka, oxidu uhličitého a obsah spáliteľných látok v odchádzajúcich plynoch je sledovaný analyzátorom.

Na riadenie bioreaktora je ďalej použitých deväť dvojhodnotových vstupov umožňujúcich sledovať úroveň hladiny, prietoku jednotlivými čerpadlami, signály z medzných snímačov polohy piestu v analyzátoch, ručný odber vzoriek a potvrdenie zahájenia riadenia jednotky IMCS a analyzátoch z PLC. Päť dvojhodnotových výstupov slúži na ovládanie dvoch vypustných ventilov na mikrofiltračnej jednotke pri regulácii biomasy



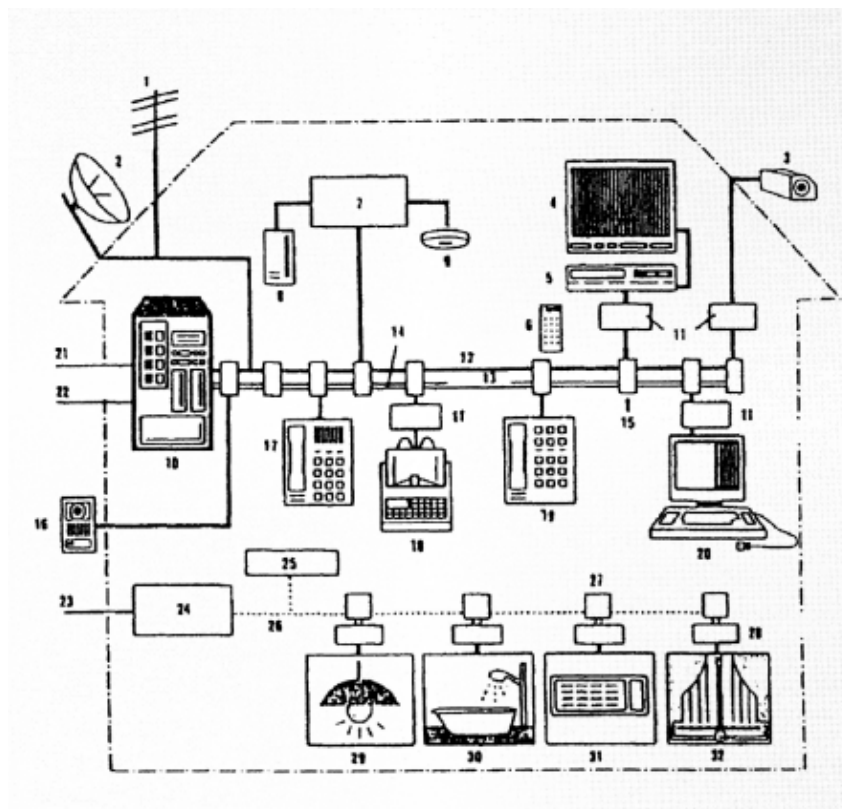
Obr.8.6 Riadenie bioreaktora [3]

8.4 Príklad riadenia budovy

Moderné budovy už nemôžu byť prevádzkované bez automatického riadenia procesov. Začína sa používať pojem inteligentné budovy, kde sa predpokladá vzájomné prepojenie riadenia vykurovania, chladenia, osvetlenia, výťahov, protipožiarnej ochrany, bezpečnosti a prípadne ďalších systémov. K tomu je potrebné, aby systémy snímali stav vo vnútri budovy a okolo budovy a boli určené algoritmy reakcie na tieto informácie. Tieto skutočnosti sa týkajú priamo prevádzky budovy so zabezpečením funkcií šetrenia energie, želaného pracovného prostredia, ochrany pred nedovoleným vstupom do priestorov a pod. Do týchto činností by však malo vstúpiť aj riadenie údržby, riadenie rizikových situácií, riadenie súčinnosti v rámci komplexu budov a pod.

Sú snahy definovať **inteligentnú budovu**, aby nové navrhované budovy mali určené základné požiadavky, ktoré je potrebné splniť. V [4] je uvedených niekoľko definícií (inteligentné budovy USA, v Singapure, v Číne, v Japonsku). Uvedme definíciu pre Európu. Vychádza predovšetkým z požiadaviek používateľov a menej z definovania technológií. Je to budova, ktorá vytvára také vnútorné prostredie, ktoré maximalizuje schopnosť správnej činnosti obyvateľov budovy a zároveň umožňuje účinný manažment zdrojov s minimálnymi nákladmi na zariadenia a vybavenie počas životnosti budovy.

Byt a rodinný dom umožňujú široké zavedenie automatizácie najrôznejších činností resp. funkcií, napr. osvetlenie, žaluzie, vykurovanie, vetranie, klimatizácia, elektroinštalácia, signalizácia a monitorovanie, alarmové hlásenia a pod. [5].



Obr. 8.7. Automatizovaný rodinný dom

Označenie niektorých funkcií: 3 – pohybová strážna kamera, 7 – dielčí regulátor, 8 – hlásič netesnosti, 9 – požiarny hlásič, 10 – regulátor domovej zbernice, 13 – hlavná zbernica, 20 – prípoj Internetu.

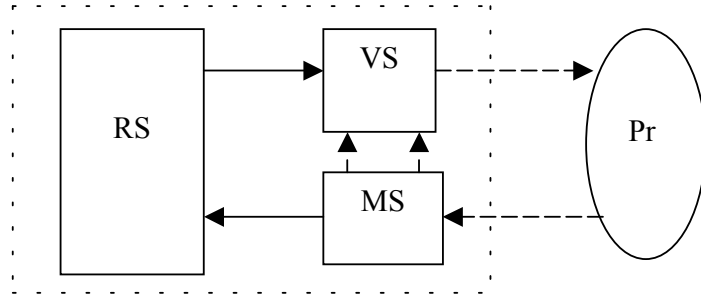
8.4 Príklad riadenia robota

Robot sám je typický mechatronický systém. Robotov je veľa rôznych typov. Základné delenie by mohli byť, na roboty manipulačné (menia polohu predmetov) a technologické (vykonávajú technologické operácie). Ide o roboty, ktorých základná časť je manipulátor. Skupín robotov je však ďaleko viac. Sú to roboty mobilné, servisné, tvorivé, exoskeletony, atď. Ako zaujímavá skupina sa javia tzv. osobné roboty, ktoré by mali byť spoločníkmi ľudí, poskytovať im potrebné služby.

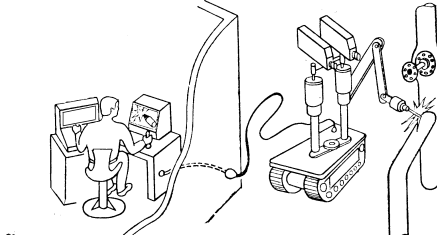
Základná schéma robota je na obr.8.8, kde MS je merací systém, VS – výkonný systém, RS – riadiaci systém, Pr – prostredie.

Robot má snímače vnútornej a vonkajšej informácie. Signály zo snímačov sú spracovávané v meracom systéme. Výkonný systém na základe riadiacich signálov z riadiaceho systému a informácií z meracieho systému vykonáva činnosť, ktorou ovplyvňuje stav prostredia.

Rôznorodosť úloh robotiky vyžaduje používanie tzv. dištančne riadených robotov. Existuje viacero metód dištančného riadenia, ktoré rôznym spôsobom zaťažujú obsluhu. Najjednoduchšie systémy sú s mechanickým generovaním riadiacich signálov. Pri zložitejších sa využíva princíp teleprítomnosti alebo teleexistencie. V nových systémoch sa využívajú princípy virtuálnej reality. V každom zo systémov je potrebná činnosť operátora. Pre také systémy sa používa označenie systémy s biotechnickým riadením.

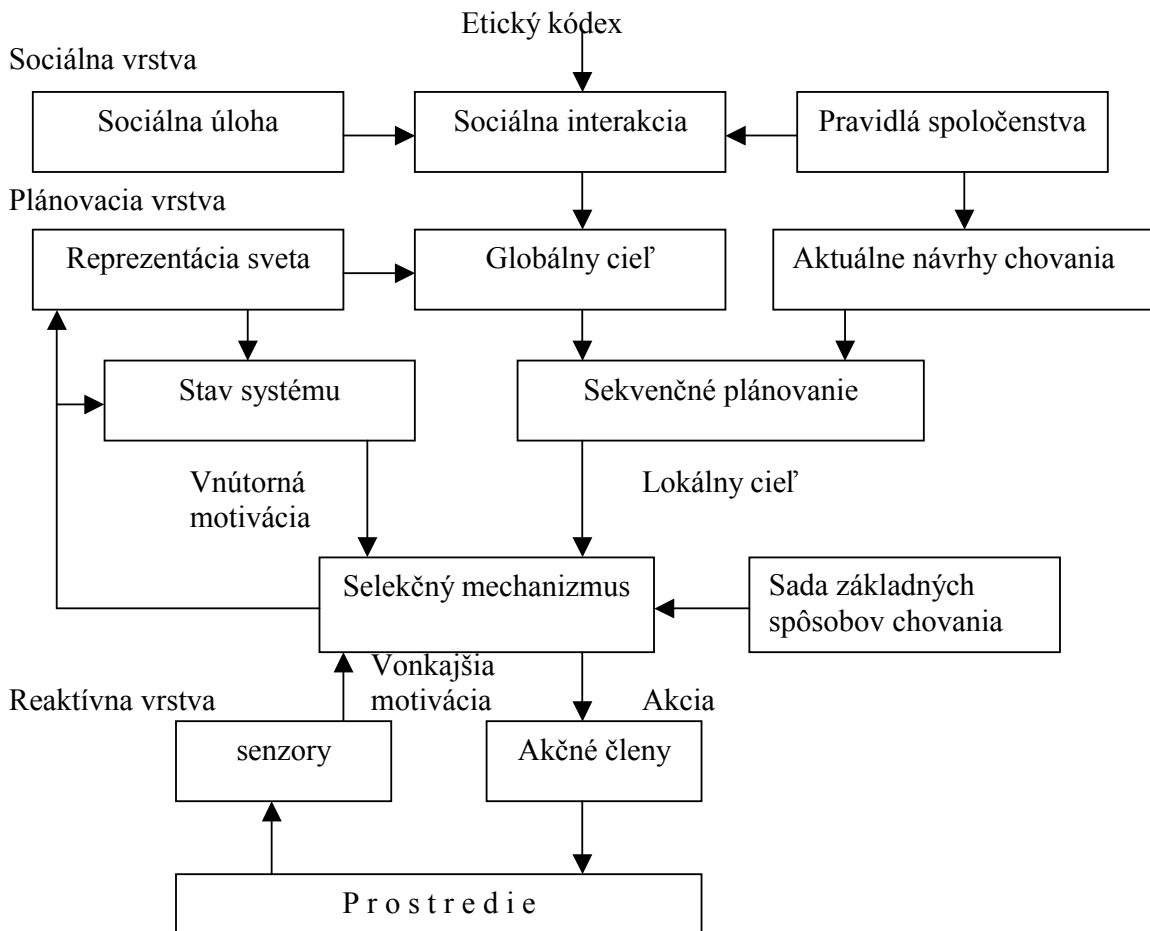


Obr.8.8 Bloková schéma robota



Obr.8.9 Dištančné riadenie robota

Ak sa požaduje spolupráca viacerých robotov, ide o spoločenstvo robotov, ktoré majú vykonávať konkrétnu prácu môže byť riadiaci systém uvedený na obr.8.10.



Obr.8.10 Bloková schéma riadiaceho systému robota v spoločenstve robotov

8.5 Príklad riadenia pružnej výrobnjej linky

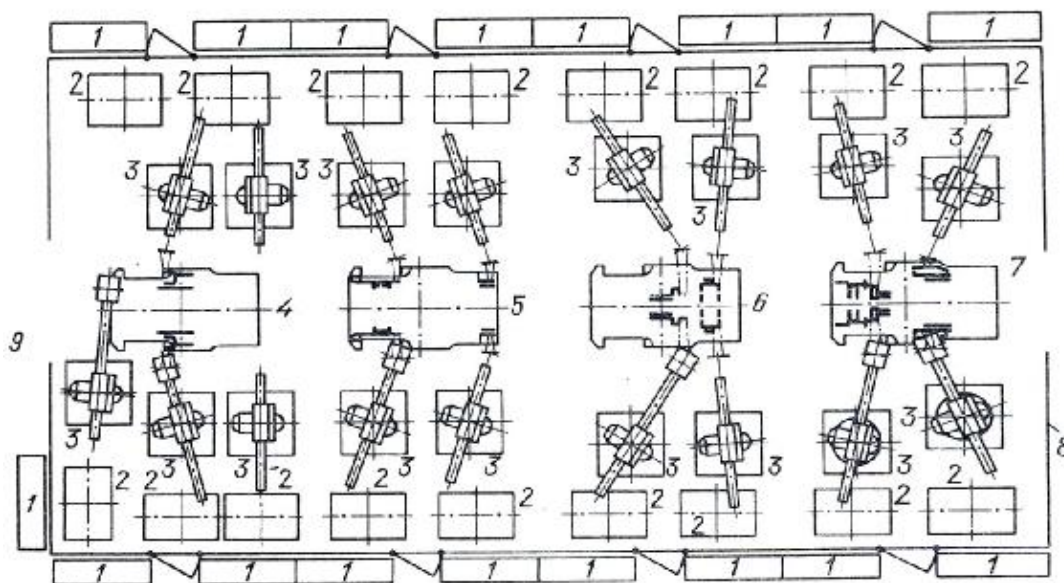
Základné tendencie pružných výrobných systémov (PVS) sú:

- široké používanie modulovej konštrukcie, umožňujúce rozširovanie PVS v závislosti od požiadaviek,
- zvýšenie stupňa inteligencie PVS (rozšírenie senzorového systému, použitie umelej inteligencie v riadení),
- zosilnenie technologických a organizačných väzieb PVS s výrobným procesom vyššieho celku, čo je nutné pre zvýšenie efektívnosti riadenia PVS,
- prechod k realizácii princípov CIM.

Pružné systémy umožňujú 2-5 krát skrátiť čas prechodu na nový výrobok. Najväčšie rozšírenie PVS je v technologických procesoch zložitého a presného mechanického opracovania, automatickej montáže, zvarovania (predovšetkým v automobilovom priemysle). V takýchto systémoch dopravné operácie sa uskutočňujú automatickými zariadeniami alebo mobilnými robotmi.

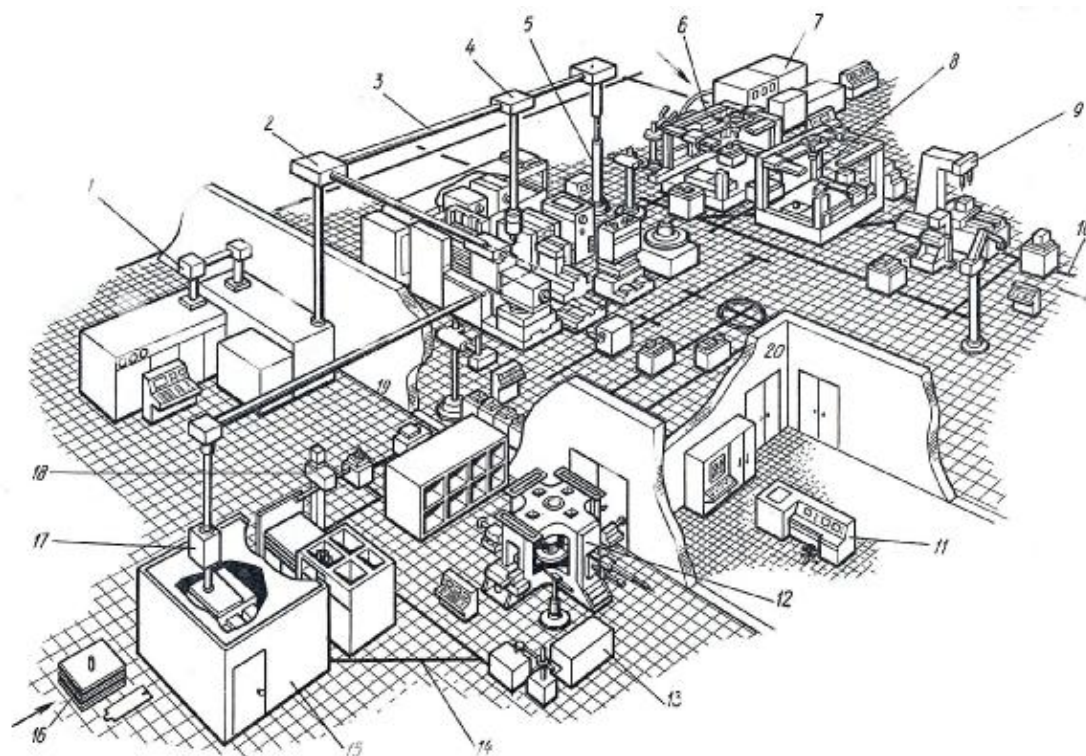
Robotizované zvarovanie využíva bodové, oblúkové, laserové a ďalšie technológie. Pri zvaraní môže dochádzať k značným deformáciám zvarovaných dielov v dôsledku tepla privádzaného do zvaru. Pre kvalitné zvary je potrebné uvažovať o použití adaptívnych systémov riadenia polohy a technologických parametrov. Je zrejmé, že v tomto prípade je nevyhnutné použiť zodpovedajúci merací systém.

Príkladom je robotizovaná linka bodového zvarovania karosérie automobilu – obr.8.11. V linke je 16 zvraciacích robotov a 4 pracovné miesta (4,5,6,7). Riadiaci systém 1, hydraulické agregáty 2 sú spojené s robotom 3. Pracovný priestor je chránený zábranami 8,9.



Obr.8.11 Robotizovaná linka zvarovania karosérií

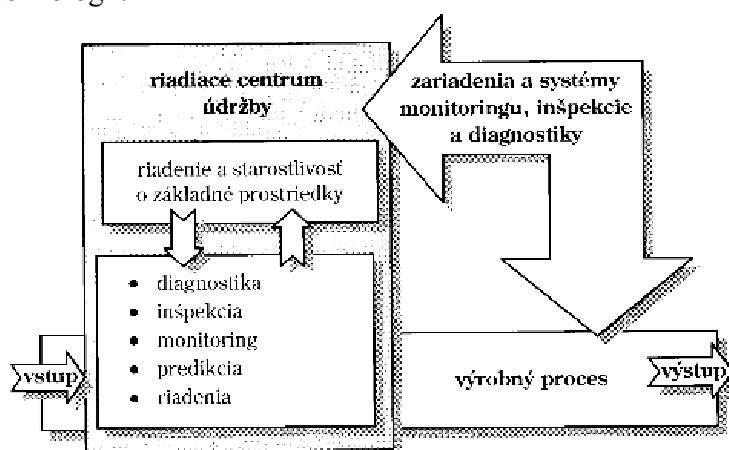
V súčasnosti sú perspektívne technológie založené na použití laserových systémov ako na meranie tak vo výkonovej oblasti. Príklad pracoviska je na obr.8.12.



Obr.8.12. Príklad pružného výrobného systému

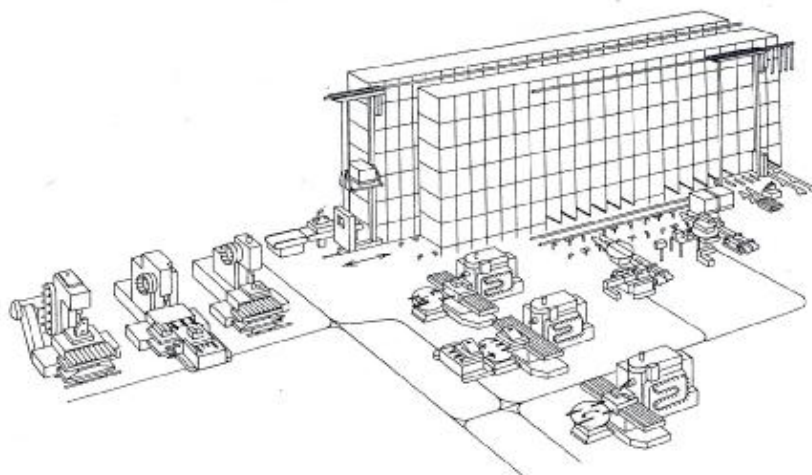
Na obr.8.12 je : 1- laser, 2 – vedenie laserového lúča, 3 – zváranie, 4 – obrábanie, 5 – dokončovacie operácie, 6 – skladanie, 7 – laserový generátor, 8 – montáž, 9 – kontrola, 10 – produkty, 11 - riadiaci pult, 12 – hrubé opracovanie, indukčná pec, 13 – podávanie polotovarov, 14 – medzisklad, 15 – príprava, 16 – materiál, 17 – navarovanie, 18 – zariadenie odklonu laserového lúča, 19.- sklad, 20 – dopravný systém. [6]

Pre úspešnú a spoľahlivú činnosť automatických systémov je dôležitá efektívna údržba systémov. V [7] sú uvedené prístupy k riadeniu údržbárskych činností na princípe inteligentných technológií.



Obr.8.13 Systém údržby riadenia

Dôležitými súčasťami riadenie PVS sú systémy riadenia automatického skladovo-dopravného systému. Skladové systémy môžu byť rozmiestnené horizontálne alebo vertikálne. Ich riadenie vyžaduje databázové systémy. Dopravné systémy v rozhodujúcej miere určujú pružnosť zmeny trás vo výrobe. Najpružnejšie sú systémy s mobilnými robotmi. Pri riadení je potrebné riešiť otázky výberu cesty, určenia dráhy, obchádzania prekážok a pod.



Obr.8.14 Systém PVS

Na obr. 8.14 je znázornený skladový systém s vertikálnym skladoom a uvedené sú možné trasy dopravných robotov v pružnej výrobe.

Literatúra

- [1] Jurišica,L.,Žalman,M.,Šturcel,J.,Bélai,I.: Riadenie výrobných a technologických procesov. STU Bratislava, 2002.
- [2] Sadlek,J.,Sládkovič,J.,Hutta,V.: Stavba najväčšej kogeneračnej jednotky v SR. AT&P Journal. č.1, 2002.
- [3] Vaněk,M. a kol.: Řídící systémy bioprocésu Biogenes II. Automatizace č.1, 2002.
- [4] Ehrenwald,P.: Súčasnosc' a perspektívy realizácie inteligentných budov. AT&P Journal č.3, 2002.
- [5] Ehrenwald,P.: Automatizácia bytu a rodinného domu na prahu tretieho tisícročia. AT&P Journal č.4, 1999.
- [6] Gibkie proizvodstvennye sistemy Japonii. Preklad z japončiny. Mašinstroenie, Moskva, 1987
- [7] Orinčák,Z.: Hodnotenie globálnych rizík údržby podnikov. AT&P Journal, č. 10, 2002.

Otázky:

- Aké je obvyklé zapojenie servosystému?
- Aké bloky sú v servosystéme riadenia robota?
- Aké sú požiadavky na riadenie tzv.letmej píly?
- Aké riadené systémy sú v systéme riadenia kogeneračnej jednotky?
- Aké veličiny sú riadené v biotechnickom procese?

- Ako sa dá definovať inteligentná budova?
- Aké funkcie sa predpokladajú pri riadení domu?
- Aké bloky sú v schéme riadenia robota?
- Aké sú tendencie v PVS?
- Aké bloky sú v PVS v automobilovom priemysle?
- Aké sú tendencie v oblasti robotizácie zvarovania?

9 Trendy v automatizácii

Názory na trendy automatizácie sú stanovované jednak v oblasti teórie jednak v oblasti používaných prostriedkov. Vývoj v teórii je dobre sledovateľný na svetových kongresoch IFAC a ďalších svetových profesných organizácií ako aj vo svetových časopisoch. Vývojové trendy v používaných prostriedkoch určujú často veľké firmy, ktoré prichádzajú na základe zhodnotenia vývoja teórie, dostupných prostriedkov, skúseností z prevádzky systémov k novým koncepciám.

Uvádza sa [1], že:

- v tržnej ekonomike musí byť automatizácia ekonomicky podložená,
- špičkové automatizačné prostriedky sa budú predovšetkým kupovať od renomovaných svetových výrobcov a len minimálne vyrábať,
- veľký záujem bude o odborníkov, ktorí budú vedieť riešiť automatizáciu priemyselných a najmä nepriemyselných procesov s využitím dostupných automatizačných prostriedkov so zabezpečeným servisom,
- automatizáciu bude potrebné ponúkať ako komplexnú službu od ekonomicky podloženého zdôvodnenia jej prínosov až po návrh technického riešenia, organizačného naplánovania a zabezpečenia realizácie,
- návrh automatizácie, jej naplánovanie a riadenie realizácie bude podporované počítačovými programovými systémami, integrovanými do informačných systémov dodávateľských a zákaznických firiem,
- proces automatizácie bude vyžadovať tímovú prácu odborníkov rôznych profesií z dodávateľských a zákaznických firiem.

Priemyslová automatizácia je zameraná na dosiahnutie:

- flexibility výroby, so schopnosťou reagovať na požiadavky v zmene konfigurácie produktu, veľkosti série a pod.,
- trvalého rastu produktivity,
- zlepšovanie akosti výrobkov,
- znižovanie celkových nákladov,
- zvyšovanie bezpečnosti a spoľahlivosti.

Tieto požiadavky možno zabezpečiť vďaka rozvoju:

- softverových technológií,
- komunikačných a sieťových technológií,
- metód diagnostiky,
- nástrojov na plánovanie a rozhodovanie,
- znalostných systémov.

Od automatizácie sa vyžaduje, aby prispela k rastu tržnej hodnoty podniku. Vedie to ku komplexnému pohľadu na výrobu ako na automatizovaný reťazec tvorby hodnôt. Uvažuje sa celý komplex úloh od marketingu po expedíciu. Ide o integrovanú výrobu.

Prvá vlna integrácie riadenia na báze PC začala v 80. rokoch, keď bola rozpracovaná koncepcia CIM (Computer Integrated Manufacturing). **Cieľom CIM** bola optimalizácia výroby zabezpečením toku informácií pozdĺž a naprieč výrobnými linkami vo fabrikách. PC boli použité ako vysoko sofistikované zariadenia na obsluhu a sledovanie – HMI (Human Machine Interface) alebo ako platformy pre rýchlo rastúci programovací a konfiguračný softver. Nevyhnutnou podmienkou činnosti systémov s PC je existencia štandardov na pripojenie rôznych senzorov a akčných členov. V 90. rokoch štandardy FieldBus umožnili pripojiť štandardné vstupno/výstupné moduly k PC.

Druhá vlna integrácie vychádzala z toho, že PC už boli dominantnou platformou pre operátorské a inžinierske stanice. Presadzovala sa myšlienka použiť PC ako viacúčelové zariadenie na riešenie viacerých úloh na jednej hardvérovej platforme. Hlavnými cieľmi riadenia na báze PC boli:

- redukcia množstva hardvérových komponentov na aplikáciu,
- využitie pokroku v PC inováciách pre priemyselné aplikácie,
- použitie štandardného softvéru a hardveru.

Tretia vlna integrácie „plne integrovaná automatizácia“ vychádza zo zámeru integrácie všetkých automatizačných komponentov v rámci jedného projektu. Integrácia na tejto úrovni znamená:

- vývoj softvéru v spoločnom programovom a konfiguračnom prostredí pre komplexný projekt,
- spoločná správa dát, čo znamená, že dáta sú zadávané iba raz a potom sú dostupné v rámci celého projektu,
- štandardné rozhrania a protokoly pre všetky hardvérové platformy umožňujúce bezprostrednú komunikáciu medzi všetkými komponentmi.

Úlohou komplexnej automatizácie je poskytnúť koncepcie, nástroje a techniky pre integráciu dielčích riešení do flexibilných a efektívnych celkov. Do budúcnosti sa predpokladá vývoj smerom k distribuovaným inteligentným automatizačným systémom [1]. Prenikanie metód umelej inteligencie do sféry komplexnej automatizácie je jedným z kľúčových trendov v rozvoji efektivity priemyselnej výroby.

Literatúra

- [1] Kazička,P.: Otvorené a distribuované riadenie. In. Perspektívy výučby v odbore Automatizácia. FEI STU 1999, Bratislava.
- [2] Dub.M.: Automatizace výrobních procesů – očekávání, skutečnost, trendy. Automatizace. č.9, 2001,
- [3] Javier Aracil: Automation on start of century. IFAC kongres 2002, Bracelona.
- [4] Zobrist,W.G.,Ho,C.Y.: Intelligent Systems and Robotics. Gordon and Breach Sc.Pub.2000.
- [5] Mařík, V.: Trendy v komplexní automatizaci. Automa č.7, 2000.
- [6] Šmejkal,L.: Inteligentní systémy pro praxi. Automatizace č.12, 2001.
- [7] Larry O'Brien: Desat' najprogresívnejších technológií pre rok 2001. AT&P Journal č.4, 2001.

Otázky:

- Čo určuje trendy rozvoja automatizácie?
- Na čo je zameraná priemyselná automatizácia?
- Aká bola postupnosť integrácie riadenia na báze PC?
- Čo prináša plne integrovaná automatizácia?
- Aké sú kľúčové trendy v rozvoji efektivity priemyselnej výroby?

10 Profesné spoločnosti

AACC. American Automatic Control Council.

AMSE. Association for the Advancement of Modelling and Simulation Techniques in Enterprises

IASTED. International Association of Science and Technology for Development

ICS. The Industrial Computing Society.

IEEE. The Institute of Electrical and Electronic Engineers

- Control Systems Society.
- Working Group on Discrete Event Systems.
- Working Group on Hybrid Dynamical Systems.
- Technical committee on Intelligent Control

InstMC. The Institute of Measurement and Control.

IEE. The Institution of Electrical Engineers.

IFAC. The International Federation of Automatic Control.

- Main site, US mirror, ASIA mirror.
- Technical Committee on Algorithms and Architectures for Real-Time Control.

ISA. The Instrumentation, Systems, and Automation Society.

SIAM. The Society for Industrial and Applied Mathematics.

UKACC. United Kingdom Automatic Control Council

11 Časopisy

Automatica at Elsevier. Editor-in-Chief's page.

Automation and Remote Control.

Control Engineering Practice.

Control, Optimisation and Calculus of Variations.

European Journal of Control.

IEE Computing & Control Engineering Journal.

IEEE Control Systems Magazine.

IEEE Transactions on Automatic Control.

IEEE Transactions on Control Systems Technology.

IEEE Transaction on Robotics and Automation

InTech.

Industrial Computing.

International Journal of Control.

International Journal of Robust and Nonlinear Control.

International Journal of Systems Science.

Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control.

Journal of Dynamical and Control Systems: Israel, USA.

Journal of Mathematical Systems, Estimation, and Control.

Journal of Process Control.

Linear Algebra and Its Applications.

Mathematics of Control, Signals, and Systems.

Mechatronics.

Modeling, Identification, and Control.

Motion Control.

SIAM Journal on Control and Optimization.

Systems and Control Letters.

Transactions of the Institute of Measurement and Control.

International Journal of Bifurcation and Chaos

Automatizace

Automa

AT&P Journal