

Prednáška 1: VÝVOJ METÓD AUTOMATICKÉHO RIADENIA

Riadenie a umelá inteligencia

doc. Ing. Anna Jadlovská, PhD.,

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Technická univerzita v Košiciach

LS 2015/2016

I. Časový vývoj metód riadenia

A. Klasické metódy riadenia

1. Ručné riadenie
2. PID regulácia
3. Kaskádne riadenie
4. Pomerová regulácia
5. Dopredné riadenie

B. Moderné riadenie - klasické metódy

1. Adaptívne riadenie
2. Metódy riadenia pre systémy s oneskorením
3. Metódy riadenia viacparametrových systémov (s využitím rozpojenia \cong decoupling control)

I. Časový vývoj metód riadenia

C. Moderné metódy riadenia I.

1. Prediktívne riadenie (MPC)
2. Riadenie s vnútorným modelom (IMC)
3. Metódy adaptívneho riadenia a metódy využívajúce princíp samonastavovania (AC, STC)

D. Moderné metódy riadenia II.

1. Metódy optimálneho riadenia (LQ, LQG)
2. Metódy riadenia nelineárnych procesov (úvod)
3. Metódy robustného riadenia
4. Hybridné riadenie
5. Metódy fuzzy riadenie
6. Metódy riadenia na báze neurónových sietí
7. Metódy využívajúce expertné systémy

| Typ riadiaceho algoritmu | Praktická implementácia [%] | Možnosť realizácie ako DDC | Implementácia v priemysle |
|--|-----------------------------|----------------------------|--|
| PID algoritmy spojité a diskkrétne | 85-92 75-82 | ÁNO | všetky druhy procesov (chemické procesy, energ. p., plyn. priemysel) |
| Alg. riadenia v stav. priestore LQ LQG | 2.5 - 3.4 3-5 0.2 | NIE (ÁNO) | Servosystémy: elektrické, hydraulické |

| Typ riadiaceho algoritmu | Praktická implementácia [%] | Možnosť realizácie ako DDC | Implementácia v priemysle |
|---|---|---|--|
| <p>Adaptívne a samonastavujúce alg. riadenia, klasický typ: nastavovanie param. PID</p> <p>priame AS</p> <p>nepriame AS</p> | <p>2.1-2.8</p> <p>2-2.4</p> <p>0.2</p> <p>0.1</p> | <p>ÁNO</p> <p>ÁNO</p> <p>ÁNO</p> <p>ÁNO</p> | <p>všetky typy procesov (chem. proc., energ. p., plyn. p.) → pomalá dynamika</p> <p>$T_{vz} = 0.1 \div 60s$</p> |
| <p>Alg. zovšeob. diskret. reg.</p> <p>klasický deadbeat</p> <p>priradenie pólov</p> | <p>0.7 - 1.1</p> <p>0.25</p> <p>1-1.5</p> | <p>ÁNO</p> <p>ÁNO</p> <p>ÁNO</p> | <p>všetky typy procesov → servosystémy</p> |

| Typ riadiaceho algoritmu | Praktická implementácia [%] | Možnosť realizácie ako DDC | Implementácia v priemysle |
|--|---------------------------------|----------------------------|---|
| Alg. nelineárneho riadenia | 0.4 | ÁNO | tepelné procesy, chemické procesy |
| Robustné alg. riadenia | 0.2 | NIE(ÁNO) | navigačné systémy, letecké syst., chem. proc. |
| Inteligentné met. riad. PID reg. fuzzy riad. neurónové riad. genetické alg. r. | 1.1 0.5 0.3 0.4 0.2 | ÁNO | proc. s oneskorením, nemodelovateľná dynamika |

Zhodnotenie:

- pre praktickú implementáciu sa používa 10 - 12 základných algoritmov PID, ktoré sa modifikujú podľa použitého procesora, dynamiky procesu, dopravného oneskorenia, ...
- v súčasnosti dochádza k modifikácii riadiacich algoritmov pre typické priemyselné procesy (tepelné, chemické, energetické, plynárenské) → (modifikácia spomenutých klasických metód riadenia berúc do úvahy časové oneskorenia, nemodelovateľnú dynamiku, zmeny pracovného bodu a rôzne typy porúch) → vedie to na vývoj nových metód riadenia, ktoré využívajú prvky robustnosti, princíp samonastavovania a metódy umelej inteligencie (NN, FL, GA)
- väčšina z použitých priemyselných regulátorov sú štandardné PID regulátory (v spojitom alebo diskretnom tvare: 89 - 90%)

Od 80-tých rokov sa k programovým balíkom na IDENTIFIKÁCIU procesov tvoria nadstavby s využitím prvkov UMELEJ INTELIGENCIE (IDFAC, SYSID) → zabudovanie EXPERTNÝCH SYSTÉMOV poskytuje užívateľovi pomoc pri výbere (T_{VZ} , určení rádu modelu, úprave dát (normovaní), porovnanie ID metód).

[Identification Toolbox (MATLAB)] → modely: ARX, ARMAX, OE, B-J

A. Lineárne diskkrétne systémy riadenia

Motivácia → nasadenie riadiacich počítačov na všetky úrovne riadenia

Dôvody na zavedenie číslicových regulátorov do praxe:

- hardw. a soft. flexibilita (ľahká realizácia alg. riadenia)
- vysoká presnosť a spoľahlivosť riadenia
- jednoduchá implementácia (cena, dostupnosť)
- nové kvalitatívne vlastnosti pri riadení (ukončenie riadenia procesu za konečný čas)
- možnosť **automatickej analýzy** procesu a **syntézy riadenia** v počítači \cong (číslcový regulátor)

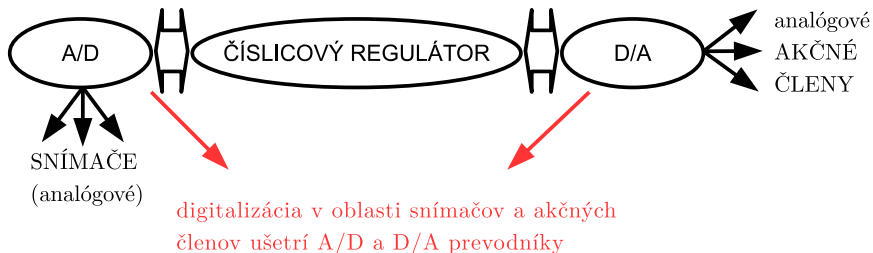
História:

- Priame číslicové riadenie TP (DDC → r. 1960) → polymerizačná jednotka rafinérie v Port Arthure - Texas (1959) → **(číslcové regulované veličiny: prietoky, tlaky v reaktoroch)**
- **minipočítačová etapa** (koniec 60-tych rokov)
- **mikropočítačová etapa** (od r. 1972)

A. Lineárne diskkrétne systémy riadenia

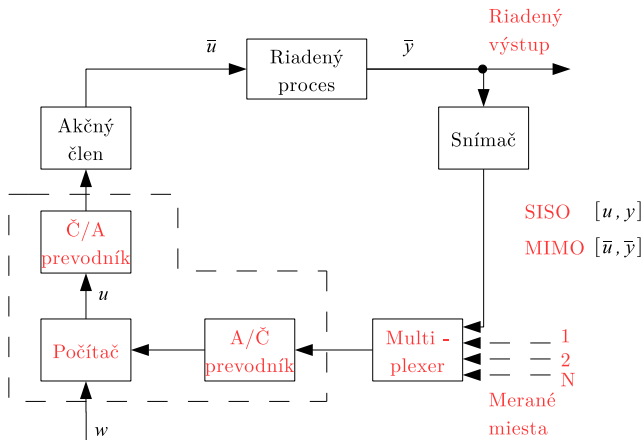
Perspektívy → rozvoj číslicového riadenia bude podmienený v oblasti:

- znalosť riadeného systému
- meracej techniky
- výpočtovej techniky
- **TEÓRIE RIADENIE**



B. Číslicové riadenie lineárnych dynamických systémov

- ak počítač preberá funkciu DISKRÉTNEHO REGULÁTORA a priamo pôsobí na regulovaný proces \cong **PRIAME ČÍSLICOVÉ RIADENIE** (Direct Digital Control - DDC)
- počítač podľa algoritmu regulácie vypočítava riadiace zásah $\rightarrow u$
- Č/A prevodník upravuje hodnotu riadiaceho zásahu a posielajú ju na regulačný orgán

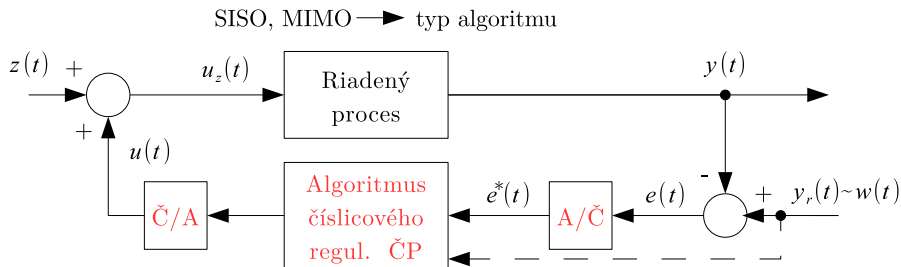


Obr.: Priame číslicové riadenie (DDC - control)

B. Číslíkové riadenie lineárnych dynamických systémov

- **žiadaná hodnota** sa zadáva do počítača
 - ▶ z nadradenej úrovne
 - ▶ počíta sa z nameraných a zosnímaných údajov
- prednosťou **diskrétnej regulácie** \rightarrow ukončenie regulačného procesu za konečný počet krokov ($T_{vz} \ll$ až do podmienok technickej realizovateľnosti) \Rightarrow reg. pochod je ukončený za toľko krokov, aký je rád systému \cong **DEADBEAT CONTROL** \rightarrow s ohraničením riadiaceho zásahu $|u_k| \leq M$

C. Diskrétny regulačný obvod s číslicovým regulátorom



- $y(t) \rightarrow$ riadená veličina (regulovaná)
- $y_r(t) \rightarrow$ cieľ riadenia (riadiaca vel.)
- $e(t) \rightarrow$ regulačná odchýlka
- $u(t) \rightarrow$ riadiaci zásah (akčný zásah)
- $z(t) \rightarrow$ poruchový signál (na vstupe procesu)

C. Diskrétny regulačný obvod s číslicovým regulátorom

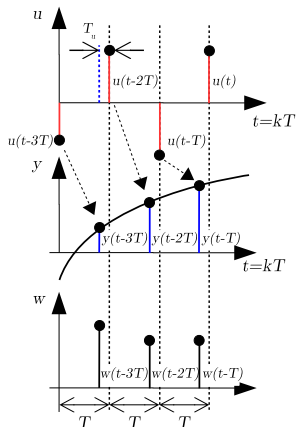
- A/Č → analógovo - číslicový prevodník → preberá úlohu **VZORKOVAČA** → transformuje postupnosť impulzov → na postupnosť číselných hodnôt
- ČP → algoritmus číslicového riadenia → spracováva údaje $(e(k), y(k), y_r(k))$ podľa alg. riadenia, ktorého hodnota odpovedá veľkosti impulzu
- Č/A → prevodník číslicovo - analógový → je konštrukčne spojený s **TVAROVAČOM**, ktorého výstupom je obĺžnikový pulz dĺžky T a jeho výška odpovedá hodnote **hodnote čísla** na výstupe počítača (TVAROVAČ → tvaruje signál)

C. Diskrétny regulačný obvod s číslicovým regulátorom

V úlohách analýzy a syntézy **DRO treba poznať:**

- technické možnosti počítačov a Č/A, A/Č prevodníkov
- čas realizácie riadiaceho algoritmu - T_{vz} - periódu vzorkovania
- minulé hodnoty vzoriek signálov: w, y, u

Postupnosť toku informácií (časová nadväznosť) v DRO je znázornená na obrázku.

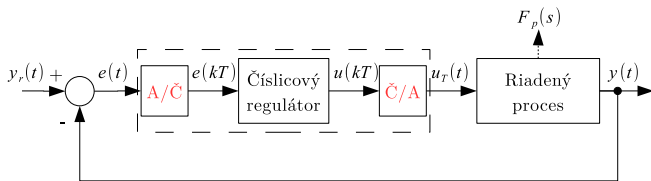


- Na výpočet riadiaceho zásahu potrebuje ČP určitý čas - T_u
- Na výpočet novej aktuálnej hodnoty $u(t)$ môže regulátor zahrnúť tie vzorky, ktoré mu boli známe do času "t" [$y(t - T)$, $u(t - T)$, $y(t - 2T)$, $u(t - 2T)$, ...]
- **Z princípu kauzality** \Rightarrow že akčný zásah $u(t)$ môže ovplyvniť budúce hodnoty $y(t + kT)$ pre $k > 0$
- hodnota $u(t)$ je známa súčasne (tesne pred alebo za) so snímanou riadenou veličinou $y(t)$

D. Návrh číslicového regulátora

- 1 nepriamy návrh - vychádza z návrhu spojitého regulátora \cong číslicová realizácia spojitého regulátora (dá sa uplatniť len pre malé periódy vzorkovania) [Naslin, optimálny modul, Graham-Lathrop polynómy, Butterworth polynómy, Ziegler-Nicholsova metóda, metóda rozloženia pólov]

Syntéza: prevodníky sa uvažujú ako súčasť regulátora, kvázispojité regulátor pre malé T_{vz} (80% číslic. RO \rightarrow na analóg. RO)



Obr.: Bloková schéma lin. RO s kvázianalógovým regulátorom

D. Návrh číslicového regulátora

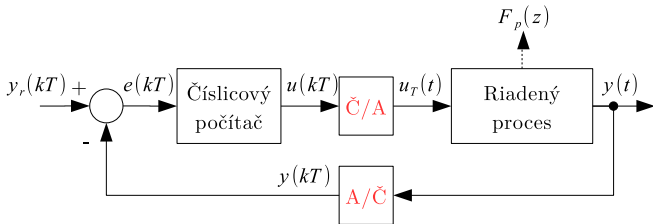
- 2 priamy návrh - s využitím teórie diskretného riadenia → návrh nie je obmedzený ŠTRUKTÚROU REGULÁTORA ⇒ širšie algoritmické možnosti číslicovej techniky

Syntéza: prevodníky sa pridajú k regulovanej sústave (procesu), ktorú uvažujeme ako kvázi diskretnu:

$$F_p(s) \xrightarrow{T_{vz}} F_p(z) \rightarrow \text{presná diskretizácia}$$

A/Č prevodník umiestnime za $F_p(s)$ → obvod uvažujeme ako diskretný → vhodné pre $T_{vz} \gg$;

aplikácia Z - transformácie a polynomiálnych regulátorov



Obr.: Bloková schéma lin. diskretného RO s diskretným procesom

Zhrnutie

- Medzi základné prístupy a prostriedky TAR disk. systémov:
 - ▶ vzorkovanie, výber periódy vzorkovania (Nyquist, Shannon)
 - ▶ opis systému diferenčnou rovnicou (Oldenburg, Sartorius, 1944)
 - ▶ použitie Z-transformácie (Ragazzini, Cypkin, Jury)
 - ▶ metódy stavového priestoru (Pontrjagin, Bellman, Kalman)
 - ▶ algebraická teória (Kalman, Rosenbrock, Kučera)
- Ďalšie okruhy problémov:
 - ▶ optimálne a stochastické riadenie (Bellman, Pontrjagin)
 - ▶ identifikácia systému (Åstrom, Ljung, Goodwin)
 - ▶ adaptívne riadenie (Åstrom, Wittenmark)
- Systémy:
 - ▶ lineárne:
 - ★ LTI - s konšt. koef.
 - ★ LTV - s prem. koef.
 - ▶ nelineárne - **INTELIGENTNÉ RIADIACE SYSTÉMY**