

**UNIVERZITET U BIHAĆU**  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
**BIHAĆ**

## **RAČUNARSKO VOĐENJE PROCESA**

**Auditorne/Laboratorijske vježbe**

**Efekat pojačanja senzorskog signala na prigušenje djelovanja smetnje  
(Vježba 7)**

**mr. Amel Toroman, dipl.ing.el.**  
**Viši asistent**

**Ak. 2022/2023**

## SPECIFIKACIJA

### **Vježba br: 7.** *Efekat pojačanja senzorskog signala na prigušenje djelovanja smetnje*

#### **Analitički dio zadatka**

Posmatra se idealizovani termopar  $J$  tipa, sa mjernim područjem od 0 do 800 [°C] kojem odgovara promjena napona od 0 do 50 [mV]. Neka se za diskretizaciju senzorskog signala koristi idealizovan A/D konvertor sa 12 bita i ulaznim područjem od 0 do 10 [V], potrebno je:

- a) *Izračunati grešku sa kojom će biti u računaru memorisana vrijednost temperature ako se senzorski signal vodi direktno na ulaz AD konvertora i na njega u prenosu ne djeluje smetnja.*
- b) *Izračunati grešku sa kojom će biti u računaru memorisana vrijednost temperature ako se senzorski signal vodi direktno na ulaz AD konvertora i na njega u prenosu povremeno djeluje smetnja od 10[mV].*
- c) *Izračunati grešku sa kojom će biti u računaru memorisana vrijednost temperature ako se senzorski signal prije prenosa pojačava pojačanjem  $K_p=10^k$ , pri čemu je  $k=1,2,3$  i na njega u prenosu djeluje smetnja kao pod b).*
- d) *Odrediti potrebne transformacije i parametre analognog ulaznog sistema za koje komponenta greške pri registraciji temperature i pored djelovanja smetnje kao pod b), nije veća od 0.5 [°C].*

## RJEŠENJE

Ulazni dio analognih veličina u digitalni sistem uvijek je *analogno-digitalni konvertor* (A/D). On vrši *pretvaranje analognog* signala sa ulaza u *digitalni* signal pogodan za obradu u digitalnim strukturama. Pretvaranje se vrši u određenim vremenskim trenucima ( $kT$ ,  $k=1,2,\dots$ ) kada se uzima trenutna vrijednost sa ulaza kolima za zadržku (S/H), izvrši njeno pretvaranje u odgovarajući binarni broj, te stavi na raspolaganje digitalnom sistemu. Vremenski razmaci između dvije uzastopne konverzije mogu biti jednaki ( $T$ ), ali ne moraju.

Da bi digitalni sistem mogao da obavlja funkciju obrade analognog ulaznog signala u realnom vremenu ovaj razmak treba da je veći od vremena potrebnog za izvršenje odgovarajućeg programskog kôda korištenog algoritma plus vrijeme potrebno za jednu konverziju. Ukoliko je vrijeme između dvije uzastopne konverzije  $T$  konstantno, onda se govori o *frekvenciji uzorkovanja* (sempliranja)  $f_s = 1/T_s$ , ( $T_s = T$ ).

Pored frekvencije sempliranja koja se za dati konvertor definiše kao maksimalna koju on može da podržaje, bitan parametar A/D konvertora je dužina riječi na izlazu iz A/D konvertora. Ova dužina definira tačnost konverzije, te utiče na tačnost obrade koja će uslijediti. Dužina se definira brojem bita konvertovanog podatka i u primjeni su 8-bitne, 10-bitne, **12-bitne**, 16-bitne, itd., A/D konverzije. Treći parametar koji određuje A/D konvertor je vrijeme trajanja jedne A/D konverzije ( $T_{ad}$ ). Ovo vrijeme je u vezi sa maksimalnom frekvencijom sempliranja i poželjno je da je što kraće.

Sljedeći parametar vezan za A/D konverziju je broj analognih ulaza. Taj broj treba da bude veći ili jednak broju analognih ulaza koji se u digitalnom sistemu obrađuju. Ako je broj ulaznih analognih kanala, nedovoljan postoji mogućnost multipleksiranja analognih ulaza tako da se dodatnim kolima sa manjim brojem analognih ulaza vrši obrada potrebnog broja ulaznih analognih veličina. A/D konvertor može biti realiziran kao zaseban sklop (čip), ili u sastavu složenijeg sistema na jednom čipu (mikrokontroler, DSP). A/D konvertor ima mogućnost programskog upravljanja početkom konverzije, kao i mogućnost programskog izbora analognog ulaza prilikom multipleksiranja.

- a) Greška sa kojom će biti u računaru memorisana vrijednost temperature ako se senzorski signal vodi direktno na ulaz AD konvertora i na njega u prenosu ne djeluje smetnja

**Apsolutna greška:**

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n}$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu
- $UO_s$  – ulazni opseg senzora
- $IO_s$  – izlazni opseg senzora
- $\Delta U_{max}$  – ulazno područje A/D konvertora (maksimalno)
- $n$  – broj bitova

$$UO_s = 800 \quad | \quad IO_s = 50 \cdot 10^{-3} = 0.05 \quad | \quad \Delta U_{max} = 10 \quad | \quad n = 12$$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05} \cdot \frac{10}{2^{12}} = 16000 \cdot \frac{10}{4096} = 16000 \cdot 0.002441 = \mathbf{39.0625 \text{ [}^\circ\text{C]}}$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{39.0625}{2} = \mathbf{19.53 \text{ [}^\circ\text{C]}}$$

**Relativna greška:**

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu
- $UO_s$  – ulazni opseg senzora
- $\Delta X_r$  – rezolucija mjerene veličine u relativnom iznosu

$$\Delta X = 39.0625 \quad | \quad UO_s = 800$$

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100 = \frac{39.0625}{800} \cdot 100 = 0.0488 \cdot 100 = \mathbf{4.883 \text{ [\%]}}$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{4.883}{2} = \mathbf{2.4414 \text{ [\%]}}$$

- b) Greška sa kojom će biti u računaru memorisana vrijednost temperature ako se senzorski signal vodi direktno na ulaz AD konvertora i na njega u prenosu djeluje smetnja od 10 [mV]

Idealizovanom termoparu J tipa promjena mjerene veličine od 0 do 800 [°C] odgovara promjena napona od 0 do 50 [mV].

Osjetljivost ovog termopara u apsolutnom iznosu je vrlo malena i iznosi:

$$\frac{50 \cdot 10^{-3}}{800} = 0.0000625 \left[ \frac{V}{^{\circ}C} \right].$$

Dakle, ako se senzorski signal ne pojačava, onda je osjetljivost senzora 0.0000625[V/°C], pa će smetnja reda 10 [mV] dati dodatnu grešku u kontinualnom signalu:

$$e_s = \frac{\text{smetnja}}{\text{osjetljivost\_senzora}} [^{\circ}C]$$

$$e_s = \frac{0.01}{0.0000625} = 160 [^{\circ}C]$$

**Apsolutna greška:**

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{39.0625}{2} = \mathbf{19.53} [^{\circ}C]$$

**Relativna greška:**

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{4.883}{2} = \mathbf{2.4414} [\%]$$

- c) Greška sa kojom će biti u računar memorisana vrijednost temperature ako se senzorski signal prije prenosa pojačava pojačanjem  $K_p=10^k$ , pri čemu je  $k=1,2,3$  i na njega u prenosu djeluje smetnja kao pod b).

Osjetljivost  $J$  termopara sa pojačanjem iznosi:

$$a = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot K_p}{800} \left[ \frac{V}{^{\circ}C} \right].$$

U ovom slučaju, pojačanje iznosi  $K_p=10^k$ , pri čemu je  $k=1,2,3$ , pa je osjetljivost senzora:

$$a = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot K_p}{800} = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 10^k}{800} \left[ \frac{V}{^{\circ}C} \right], \quad k = 1,2,3.$$

- $K_p = 10^1$  ( $k = 1$ )

$$a = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot K_p}{800} = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 10^1}{800} = \frac{50 \cdot 10^{-2}}{800} = \frac{0.5}{800} = 0.000625 \left[ \frac{V}{^{\circ}C} \right]$$

$$e_s = \frac{\text{smetnja}}{\text{osjetljivost\_senzora}} = \frac{0.01}{0.000625} = 16 \text{ } [^{\circ}C]$$

**Apsolutna greška:**

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n}$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2}$$

$$UO_s = 800 \quad | \quad IO_s = 50 \cdot 10^{-3} = 0.05 \quad | \quad \Delta U_{max} = 10 \quad | \quad K_p = 10 \quad | \quad n = 12$$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05 \cdot 10} \cdot \frac{10}{2^{12}} = 1600 \cdot \frac{10}{4096} = 1600 \cdot 0.002441 = 3.90625 \text{ } [^{\circ}C]$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{3.90625}{2} = 1.953125 \text{ } [^{\circ}C]$$

**Relativna greška:**

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2}$$

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100 = \frac{3.90625}{800} \cdot 100 = 0.004883 \cdot 100 = 0.4883 \text{ } [\%]$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{0.4883}{2} = 0.24414 \text{ } [\%]$$

- $K_p = 10^2$  ( $k = 2$ )

$$a = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot K_p}{800} = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2}{800} = \frac{50 \cdot 10^{-1}}{800} = \frac{5}{800} = \mathbf{0.00625} \left[ \frac{V}{^{\circ}C} \right]$$

$$e_s = \frac{\text{smetnja}}{\text{osjetljivost\_senzora}} = \frac{0.01}{0.00625} = \mathbf{1.6} [^{\circ}C]$$

**Apsolutna greška:**

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n}$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2}$$

$$UO_s = 800 \quad | \quad IO_s = 50 \cdot 10^{-3} = 0.05 \quad | \quad \Delta U_{max} = 10 \quad | \quad K_p = 100 \quad | \quad n = 12$$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05 \cdot 100} \cdot \frac{10}{2^{12}} = 160 \cdot \frac{10}{4096} = 160 \cdot 0.0024414 = \mathbf{0.390625} [^{\circ}C]$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{0.390625}{2} = \mathbf{0.1953125} [^{\circ}C]$$

**Relativna greška:**

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2}$$

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100 = \frac{0.390625}{800} \cdot 100 = 0.0004883 \cdot 100 = \mathbf{0.04883} [\%]$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{\mathbf{0.04883}}{2} = \mathbf{0.024414} [\%]$$

- $K_p = 10^3$  ( $k = 3$ )

$$a = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot K_p}{800} = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}{800} = \frac{50 \cdot 10^0}{800} = \frac{50}{800} = \mathbf{0.0625} \left[ \frac{V}{^{\circ}C} \right]$$

$$e_s = \frac{\text{smetnja}}{\text{osjetljivost\_senzora}} = \frac{0.01}{0.0625} = \mathbf{0.16} [^{\circ}C]$$

**Apsolutna greška:**

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n}$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2}$$

$$UO_s = 800 \quad | \quad IO_s = 50 \cdot 10^{-3} = 0.05 \quad | \quad \Delta U_{max} = 10 \quad | \quad K_p = 1000 \quad | \quad n = 12$$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05 \cdot 1000} \cdot \frac{10}{2^{12}} = 160 \cdot \frac{10}{4096} = 16 \cdot 0.0024414 = \mathbf{0.0390625} [^{\circ}C]$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{0.0390625}{2} = \mathbf{0.01953125} [^{\circ}C]$$

**Relativna greška:**

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2}$$

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100 = \frac{0.0390625}{800} \cdot 100 = 0.00004883 \cdot 100 = \mathbf{0.004883} [\%]$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{0.004883}{2} = \mathbf{0.0024414} [\%]$$



d) Transformacije za postavljanje da greška ne bude veća od  $0.5 [^{\circ}\text{C}]$  pri smetnji  $10[\text{mV}]$

Ukoliko se uzme pojačanje  $K_p=400$ , pri smetnji od  $10 [\text{mV}]$ , tada se dobije osjetljivost i greška manja od  $0.5[^{\circ}\text{C}]$ :

$$K_p = 400$$

$$a = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot K_p}{800} = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 400}{800} = \frac{0.05 \cdot 400}{800} = \frac{20}{800} = 0.025 \left[ \frac{\text{V}}{^{\circ}\text{C}} \right]$$

$$e_s = \frac{\text{smetnja}}{\text{osjetljivost\_senzora}} = \frac{0.01}{0.025} = 0.4 [^{\circ}\text{C}]$$

**Apsolutna greška:**

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n}$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2}$$

$$UO_s = 800 \quad | \quad IO_s = 50 \cdot 10^{-3} = 0.05 \quad | \quad \Delta U_{max} = 10 \quad | \quad K_p = 400 \quad | \quad n = 12$$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05 \cdot 400} \cdot \frac{10}{2^{12}} = 40 \cdot \frac{10}{4096} = 40 \cdot 0.0024414 = 0.097656 [^{\circ}\text{C}]$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{0.097656}{2} = 0.048828 [^{\circ}\text{C}]$$

**Relativna greška:**

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2}$$

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100 = \frac{0.097656}{800} \cdot 100 = 0.00012207 \cdot 100 = 0.012207 [\%]$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{0.012207}{2} = 0.0061035 [\%]$$