

# Vodič za učenje: Ugrađeni sustavi, komunikacijski protokoli i bežične senzorske mreže

Ovaj vodič za učenje je dizajniran da pregleda vaše razumijevanje Analogno-digitalne (A/D) i Digitalno-analogne (D/A) konverzije, potrošnje energije u elektronskim sustavima, te različitih komunikacijskih protokola (I2C, SPI, CAN, USB, LoRa, LoRaWAN, BLE, ZigBee) kao i koncepata vezanih uz Bežične senzorske mreže (WSN).

## Kviz: Kratka pitanja

Odgovorite na svako pitanje u 2-3 rečenice.

1. **Brzina A/D konverzije:** Objasnite opće pravilo u vezi potrebne brzine A/D pretvornika s obzirom na najvišu frekvenciju analognog ulaznog signala.
2. **R/2R D/A pretvornik:** Koja je ključna karakteristika R/2R digitalno-analognog pretvornika spomenuta u izvornom materijalu?
3. **CMOS potrošnja energije:** Opišite glavnu prednost i nedostatak CMOS tehnologije u vezi potrošnje energije i promjena stanja.
4. **Minimiziranje potrošnje CMOS-a:** Navedite dva načina za smanjenje potrošnje energije u CMOS sklopovima na temelju dane formule.
5. **I2C nasuprot SPI (linije):** Koja je značajna razlika u broju linija potrebnih za I2C i SPI komunikacijske protokole?
6. **CAN sabirnica dominantni bit:** U CAN sabirnici komunikaciji, što je "dominantni bit" i koja je njegova logička vrijednost?
7. **Aktivnost LoRaWAN čvora:** Okarakterizite tipičan period aktivnosti čvorova u LoRaWAN mreži i njegovu implikaciju za prijenos podataka.
8. **Svrha DSSS-a:** Koja je glavna svrha tehnologije Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) u bežičnoj komunikaciji, posebno u vezi korištenja spektra?
9. **Pouzdanost WSN čvora:** Je li visoka pouzdanost strogi zahtjev za pojedinačne čvorove u Bežičnoj senzorskoj mreži (WSN)? Objasnite zašto da ili ne.
10. **Strategija obrade podataka WSN-a:** Opišite opću strategiju u vezi obrade podataka i udaljenosti komunikacije u Bežičnim senzorskim mrežama (WSN) za optimizaciju potrošnje energije.

## Ključ odgovora kviza

1. **Brzina A/D konverzije:** Brzina A/D pretvornika trebala bi biti najmanje dupla od najviše frekvencije prisutne u analognom ulaznom signalu. Ovo pravilo, izvedeno iz Nyquist-Shannon teorema

uzorkovanja, osigurava da se uzme dovoljno uzoraka za točnu rekonstrukciju originalnog analognog vala.

2. **R/2R D/A pretvornik:** R/2R digitalno-analogni pretvornik karakteriziran je korištenjem samo dviju vrijednosti otpora ( $R$  i  $2R$ ). To pojednostavljuje proizvodni proces i poboljšava točnost otporne mreže.
3. **CMOS potrošnja energije:** CMOS tehnologija se može pohvaliti vrlo malom potrošnjom energije u statičkom stanju, što znači kada se njezino logičko stanje ne mijenja. Međutim, njen nedostatak je što se stanje mijenja sporo zbog parazitskih kapaciteta, što utječe na njezinu izvedbu na višim frekvencijama.
4. **Minimiziranje potrošnje CMOS-a:** Za smanjenje potrošnje energije u CMOS sklopovima, može se smanjiti napon napajanja ( $V_{DD}$ ) ili smanjiti faktor aktivnosti ( $A_g$ ) deaktiviranjem nekorištenih sklopova. Dodatno, smanjenje broja tranzistora i frekvencije takta također doprinosi manjoj potrošnji.
5. **I2C nasuprot SPI (linije):** SPI obično zahtijeva više linija (četiri) u odnosu na I2C (dvije). Ova razlika znači da SPI možda nije prikladan za aplikacije gdje je minimiziranje broja pinova kritično, unatoč drugim prednostima.
6. **CAN sabirnica dominantni bit:** "Dominantni bit" na CAN sabirnici je logička nula. Ovo stanje se naziva dominantnim jer ako bilo koji čvor prenosi logičku nulu, cijela sabirnica će registrirati nulu, nadjačavajući sve čvorove koji pokušavaju prenijeti logičku jedinicu (recesivno stanje).
7. **Aktivnost LoRaWAN čvora:** LoRaWAN čvorovi obično imaju vrlo kratak period aktivnosti, često šaljući podatke samo jednom ili nekoliko puta dnevno. Ova karakteristika, u kombinaciji s malim paketima podataka, doprinosi njihovoj vrlo maloj potrošnji energije, omogućujući dugotrajnost baterije.
8. **Svrha DSSS-a:** DSSS kombinira podatke s pseudo-slučajnim uzorkom za modulaciju prije prijenosa, raspršujući signal preko šireg frekvencijskog spektra. Ovaj proces smanjuje spektralnu gustoću snage, čineći signal otpornijim na smetnje i manje osjetljivim na otkrivanje.
9. **Pouzdanost WSN čvora:** Visoka pouzdanost nije striktno potrebna za pojedinačne WSN čvorove jer je kolektivno ponašanje mreže dizajnirano da kompenzira pojedinačne greške i kvarove. Redundancija koju pruža veliki broj čvorova osigurava ukupnu robusnost sustava.
10. **Strategija obrade podataka WSN-a:** Strategija za WSN-ove je izvršiti "što više obrade koliko god je moguće za što manje prijenosa koliko god je moguće." To znači obradu podataka lokalno na čvorovima radi smanjenja količine podataka poslanih preko radija, i korištenje multi-hop komunikacije (kraće udaljenosti) za prijenos radi uštede energije.

## Pitanja u obliku eseja

1. **Usporedba A/D konverzijskih procesa:** Usporedite i suprotstavite A/D konverzijske procese "sukcesivne aproksimacije" i "jednostrukog nagiba" pretvornika. Raspravljajte o njihovim prednostima, nedostacima i tipičnim aplikacijama na temelju danih informacija.

2. **Analiza faktora potrošnje energije:** Analizirajte različite faktore koji utječu na potrošnju energije u elektronskim uređajima, posebno se fokusirajući na CMOS tehnologiju i frekvenciju procesora. Predložite konkretne strategije za optimizaciju energije, dajući primjere iz različitih izvora.
3. **Usporedba komunikacijskih protokola:** Raspravljajte o ključnim razlikama između I2C, SPI i CAN komunikacijskih protokola, uzimajući u obzir njihovu svrhu, prednosti, nedostatke i tipične aplikacije. Istaknite kako njihovi dizajnerski izbori adresiraju različite komunikacijske potrebe.
4. **Objašnjenje WSN koncepta:** Objasnite koncept Bežičnih senzorskih mreža (WSN), detaljno opisujući njihova temeljna svojstva, različite tipove čvorova i izazove povezane s njihovom implementacijom. Naglaskite važnost upravljanja energijom i strategija obrade podataka u WSN-ovima.
5. **Metode detekcije i korekcije grešaka:** Opišite različite metode detekcije i korekcije grešaka koje se koriste u CAN sabirničkom protokolu. Objasnite kako svaka metoda doprinosi robusnosti i pouzdanosti prijenosa podataka u kritičnim aplikacijama.

## Rječnik ključnih pojmova

**A/D pretvorba:** Proces konverzije analogne vrijednosti (npr. napon) u digitalnu reprezentaciju (npr. binarni kod).

**D/A pretvornik:** Uređaj koji konvertira digitalni signal u analogni signal.

**Uzorkovanje:** Proces uzimanja diskretnih ulaznih uzoraka analognog signala u redovitim intervalima tijekom A/D konverzije.

**Kvantizacija:** Proces dodjele diskretne razine amplitude svakom uzorkovanom ulazu, birajući iz predefiniranog skupa od  $N$  razina kvantizacije.

**Kodiranje:** Proces dodjele specifičnog digitalnog koda svakoj razini kvantizacije.

**R/2R pretvornik:** Tip digitalno-analognog pretvornika koji koristi samo dvije vrijednosti otpora ( $R$  i  $2R$ ) za stvaranje vagane sume digitalnih ulaza.

**PWM (Modulacija širine impulsa):** Modulacijska tehnika korištena u D/A konverziji gdje se širina impulsa mijenja za predstavljanje analogne vrijednosti.

**Delta Sigma:** Tip A/D ili D/A pretvornika koji koristi nadzorkovanje i oblikovanje šuma za postizanje visoke rezolucije.

**Sukcesivna aproksimacija:** A/D konverzijska metoda koja konvertira analogni signal u digitalni ponovnim uspoređivanjem ulaza s poznatim naponom i sužavanjem mogućeg raspona u koracima, rezultirajući konstantnim vremenom konverzije.

**Jednostruki nagib:** Jednostavnija A/D konverzijska metoda koja uključuje punjenje kondenzatora s ulaznim naponom i mjerenje vremena potrebnog za doseg reference, osjetljiva na drift kalibracije i ovisnost o R i C vrijednostima.

**Dvostruki nagib:** Složenija integrirajuća A/D konverzijska metoda koja puni kondenzator s ulaznim naponom tijekom fiksnog vremena, zatim ga prazni s poznatim referentnim naponom dok mjeri vrijeme pražnjenja, ublažavajući probleme drifta kalibracije.

**Mokre ćelije:** Tip baterije koji koristi tekući elektrolit.

**Suhe ćelije:** Tip baterije koji koristi elektrolit u obliku paste.

**Nikal (Nikal-kadmij/Nikal-metal hidrid):** Tip punjive baterije poznat po visokoj gustoći i izdržljivosti, ali štetan/toksičan za okoliš.

**Litij (Litij-ion):** Tip punjive baterije poznat po visokoj gustoći energije i lakoći, bolji za okoliš, ali zahtijeva zaštitne sklopove.

**Olovo (Olovno-kiselinska):** Tip punjive baterije koji je jeftin, ali ima malu gustoću i težak je te štetan za okoliš.

**Gorivne ćelije:** Uređaji koji konvertiraju kemijsku energiju iz goriva (poput vodika) u električnu energiju kroz elektrokemijsku reakciju.

**Superkondenzatori:** Uređaji za skladištenje energije s iznimno visokom gustoćom energije u odnosu na konvencionalne kondenzatore, često 1000 puta većom.

**NMOS:** Tip MOSFET tranzistora i logičke obitelji.

**CMOS:** Tehnologija za konstrukciju integriranih sklopova koja koristi komplementarne parove n-tip i p-tip MOSFET-ova, poznata po vrlo maloj statičkoj potrošnji energije.

**V<sub>DD</sub>:** Napon napajanja u elektronskim sklopovima, faktor u potrošnji CMOS energije.

**A<sub>g</sub> (Faktor aktivnosti):** Parametar u izračunu potrošnje CMOS energije, predstavlja aktivnost prekidanja vrata.

**Frekvencija takta:** Brzina rada procesora ili sklopa, utječe na potrošnju energije.

**Algoritam:** Konačna sekvenca precizno definiranih, računalno izvršivih instrukcija, obično za rješavanje klase problema ili izvođenje izračuna.

**Usko grlo algoritma:** Dio algoritma ili sustava koji ograničava njegovu ukupnu izvedbu ili brzinu.

**DCT/IDCT:** Matematičke transformacije često korištene u algoritmima kompresije podataka poput JPEG-a za konvertiranje prostornih podataka u frekvencijski domen.

**RGB2YUV / YUV2RGB:** Konverzije boja korištene u obradi slika i videa. RGB predstavlja Crvenu, Zelenu, Plavu, dok YUV predstavlja Luminanciju (svjetlinu) i dvije Chrominance (boja) komponente.

**GetBits:** Funkcija često spominjana u obradi podataka, posebno kada se radi s operacijama na razini bitova ili izdvajanjem specifičnih bitova iz toka podataka.

**Aproksimacija funkcija:** Proces pronalaska funkcije koja blisko odgovara danom skupu podataka ili drugoj funkciji.

**Floating point to fix point:** Konverzija algoritama s korištenjem aritmetike pokretnog zareza (realni broj) na aritmetiku fiksnog zareza (cijeli broj), često se radi radi efikasnosti u ugrađenim sustavima.

**RS-232-C:** Stariji standard za serijsku komunikaciju, često korišten za povezivanje računala s perifernim uređajima.

**UART:** Hardverski uređaj koji omogućuje serijsku komunikaciju, konvertira paralelne podatke u serijske za prijenos i serijske podatke u paralelne za primanje.

**I2C:** Dvožični (SDA i SCL) serijski komunikacijski protokol korišten za povezivanje sporih perifernih uređaja u ugrađenim sustavima.

**SPI:** Sinkroni, serijski, full-duplex komunikacijski bus obično korišten za kratku komunikaciju, tipično između mikrokontrolera i perifernih uređaja.

**CS (Chip Select):** SPI signalna linija koju glavni uređaj koristi za odabir s kojim robnim uređajem želi komunicirati.

**MOSI (Master Out Slave In):** SPI podatkovna linija gdje glavni uređaj šalje podatke robnom uređaju.

**MISO (Master In Slave Out):** SPI podatkovna linija gdje robni uređaj šalje podatke glavnom uređaju.

**SCLK (Serial Clock):** Takti signal koji glavni uređaj pruža u SPI-ju za sinkronizaciju prijenosa podataka.

**CPOL (Clock Polarity):** SPI parametar koji određuje stanje mirovanja taktne linije (visoko ili nisko).

**CPHA (Clock Phase):** SPI parametar koji određuje uzorkuje li se podatak na prednjoj ili zadnjoj strani taktnog signala.

**CAN:** Robusan vozni sabirnički standard dizajniran da omogući mikrokontrolerima i uređajima komunikaciju u aplikacijama bez glavnog računala.

**Recesivni bit:** U CAN komunikaciji, logička jedinica na sabirnici, koju može nadjačati dominantni bit.

**Dominantni bit:** U CAN komunikaciji, logička nula na sabirnici, koja ima prednost nad bilo kojim recesivnim bitovima.

**CRC:** Kod za otkrivanje grešaka korišten za otkrivanje slučajnih promjena sirovih podataka.

**CAN okvir:** Sekvenca bitova kodirana prema CAN protokolu, sadrži podatke i kontrolne bitove za siguran prijenos podataka i sinkronizaciju.

**CSMA/CD+AMP:** Arbitražna metoda koju koristi CAN sabirnica za upravljanje pristupom dijeljenom mediju.

**Bit stuffing:** Tehnika korištena u CAN-u za osiguravanje adekvatnih signalnih prijelaza za sinkronizaciju umetanjem bita suprotnog polariteta ako se dogodi pet uzastopnih bitova istog polariteta.

**Acknowledge bit:** Bit u CAN okviru koji primajući čvorovi koriste za potvrdu uspješnog primanja poruke.

**Frame check:** CAN metoda otkrivanja grešaka gdje primatelji provjeravaju stanje specifičnih bitova u okviru za koje je poznato da imaju definirano stanje.

**Bit monitoring:** CAN metoda otkrivanja grešaka gdje čvor koji prenosi čita stanje sabirnice paralelno s prijenosom i uspoređuje ga s poslanim podacima.

**LoRa:** Vlasničkih LPWAN modulacijska tehnika za dugi doseg.

**LoRaWAN:** MAC slojni protokol koji se nalazi iznad LoRa fizičkog sloja, dizajniran za IoT aplikacije male snage i dugog dosega.

**MAC:** Podsloj Data Link sloja koji kontrolira kako uređaji u mreži dobivaju pristup mediju i prenose podatke.

**Adaptive Data Rate (ADR):** Algoritam korišten u LoRaWAN-u za optimizaciju brzine podataka i snage prijenosa za pojedinačne uređaje na temelju mrežnih uvjeta.

**SF (Spreading Factor):** Parametar u LoRa modulaciji koji određuje brzinu podataka i doseg. Viši SF znači manju brzinu podataka, ali duži doseg.

**BLE:** Tehnologija bežične osobne mrežne mreže dizajnirana za malu potrošnju energije.

**GATT:** Okvir unutar BLE-a koji definira način na koji dva BLE uređaja komuniciraju izlaganjem usluga i karakteristika.

**ZigBee:** Standard bežične mesh mreže male snage i male brzine podataka temeljen na IEEE 802.15.4, često korišten za kućnu automatizaciju i industrijsku kontrolu.

**AES enkripcija:** Simetrični algoritam enkripcije korišten za osiguravanje podataka u ZigBee i drugim bežičnim protokolima.

**Duty cycle:** Omjer aktivnog vremena u odnosu na ukupno vrijeme, često korišten u bežičnoj komunikaciji za uštedu energije omogućavanjem uređajima da spavaju većinu vremena.

**Beacon okviri:** Kontrolni okviri korišteni u nekim bežičnim protokolima (poput ZigBee) za mrežnu sinkronizaciju i otkrivanje.

**ISM frekvencijski pojasevi:** Industrijski, znanstveni i medicinski radijski pojasevi rezervirani međunarodno za korištenje RF energije u industrijske, znanstvene i medicinske svrhe osim telekomunikacija.

**WSN:** Mreža prostorno raspoređenih autonomnih senzora za praćenje fizičkih ili okolišnih uvjeta.

**WSAN:** WSN koji također uključuje aktuatorne sposobne djelovati na praćeni okoliš.

**Čvor:** Pojedinačni uređaj u WSN-u, obično se sastoji od senzora, procesora, komunikacijskog modula i izvora energije.

**Multi-hop:** Komunikacijska tehnika u bežičnim mrežama gdje se podaci preusmjeravaju od jednog čvora do drugog preko višestrukih "skokova" da dosegnu odredište, posebno za duže udaljenosti.

**Flooding (Plavljenje):** Usmjeravajuća tehnika gdje se svaki dolazni paket šalje na svaku odlaznu vezu osim one na koju je stigao, često korištena u WSN-ovima bez uspostavljene infrastrukture usmjeravanja.

**Sink (Odvod):** Čvor u WSN-u koji djeluje kao pristupnik ili agregator, prikuplja podatke od drugih čvorova i često povezuje WSN s vanjskom mrežom ili korisnikom.

**Energy Harvesting:** Proces hvatanja i skladištenja energije iz vanjskih izvora (npr. solar, termalna, kinetička) za napajanje elektronskih uređaja, posebno u WSN-ovima.

**Lokalizacija čvorova:** Proces određivanja fizičke lokacije senzorskih čvorova unutar WSN-a.

**Senzor:** Uređaj koji otkriva ili mjeri fizičko svojstvo i konvertira ga u signal.

**Aktuator:** Uređaj koji uzima energiju, obično električnu, i konvertira je u neki oblik gibanja.

**MCU/CPU:** "Mozak" ugrađenog sustava ili senzorskog čvora, odgovoran za obradu podataka i izvršavanje instrukcija.

**Trajna memorija:** Nelijetkiva memorija (npr. Flash, EEPROM) korištena za trajno skladištenje podataka, čak i kada se napajanje ukloni.

**SRAM:** Lijekta memorija koja je brža od trajne memorije, ali gubi svoje podatke kada se napajanje ukloni.

**Fuzija opažanja:** Proces kombiniranja podataka s više senzora za dobivanje potpunijeg i točnijeg razumijevanja praćenog fenomena.

**Kolizija:** Kada dva ili više uređaja pokušavaju istovremeno prenijeti podatke na dijeljenom komunikacijskom mediju, rezultirajući oštećenim podacima.

**Clock Stretching:** I2C mehanizam gdje robni uređaj može držati taktnu liniju nisko za privremeno zaustavljanje glavnog prijenosa, označavajući da rob nije spreman nastaviti.

**Repeated START:** I2C mehanizam gdje se novi start uvjet generira bez prethodnog stop uvjeta, omogućujući glavnom uređaju da zadrži kontrolu sabirnice između poruka.

**EMI:** Smetnja koja utječe na električni sklop zbog elektromagnetske indukcije ili elektromagnetskog zračenja emitiranog iz vanjskog izvora.

**WDT:** Hardverski mjerač vremena korišten za praćenje rada mikrokontrolera ili sustava, resetira ga ako postane neresponzivan.