



Sveprisutno računarstvo

8. Komunikacija i sučelja

- Načini i vrste komunikacije
- Komunikacija unutar računalnog sustava
 - I2C, SPI
- Komunikacija između računalnih sustava (žična)
 - RS232/UART, RS485
- Controller Area Network (CAN)

Creative Commons



[Sveprisutno računarstvo](#) by Hrvoje Mlinarić & Igor Čavrak, FER
is licensed under [CC BY-NC-SA 4.0](#)

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

This license requires that reusers give credit to the creator.

It allows reusers to distribute, remix, adapt, and build upon the material in any medium or format, for noncommercial purposes only.

If others modify or adapt the material, they must license the modified material under identical terms.

BY: Credit must be given to you, the creator.

NC: Only noncommercial use of your work is permitted.

SA: Adaptations must be shared under the same terms.

Vrste komunikacije (podjele)

- Po tipu podataka:
 - digitalnim signalom
 - analognim signalom
- Po širini sabirnice:
 - paralelno
 - serijski
- Po usklađenosti prijenosa:
 - sinkrono
 - asinkrono
- Po zastupljenosti na tržištu:
 - široko prihvaćena norma
 - usko korištena norma

Vrste komunikacije (podjele)

- Po udaljenosti:
 - kratke udaljenosti
 - povezivanje unutar rač. sustava
 - srednje udaljenosti
 - povezivanje unutar prostorije (ureda)
 - veza računalno-uređaj
 - velike udaljenosti
 - telekomunikacijske mreže
 - prilagodba sučelja

Po slijednosti - paralelni prijenos

- Paralelni prijenos
 - istovremeni prijenos većeg broj signala
- Osobine paralelnog prijenosa
 - veća brzina prijenosa
 - vrijedi za kraće udaljenosti!
 - viša cijena
 - više linija (N + GND), kompleksnost izvedbe sabirnice i sklopova
 - pogodno samo za kraće udaljenosti
 - problemi u slabljenju signala s udaljenošću
 - problemi s izobličenjem signala, preslušavanjem, razlikama u kašnjenju između linija...



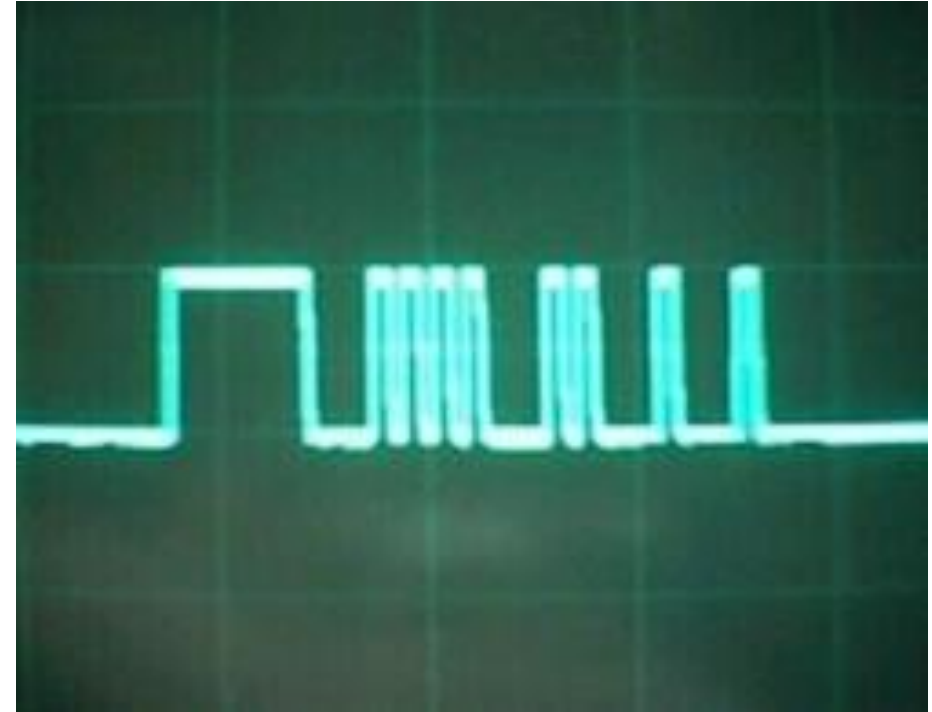
Po slijednosti - serijski prijenos

- **Serijski prijenos**

- prijenos manjeg broja informacija/signala u vremenskom slijedu (sekvencijalno)

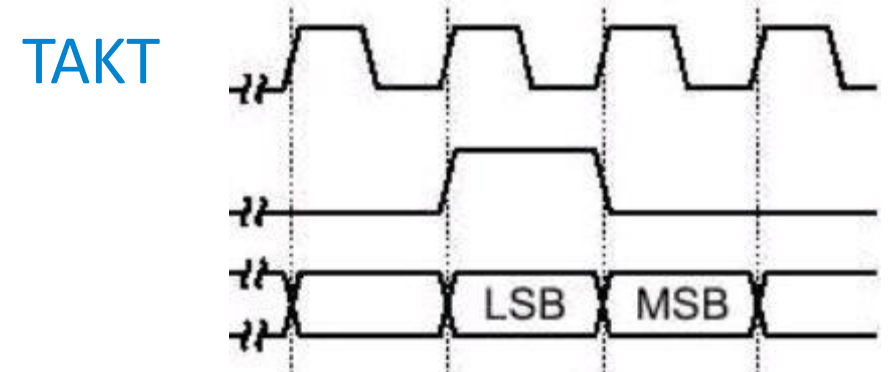
- **Osobine serijskog prijenosa**

- manja brzina prijenosa od paralelnog
 - jedan bit u jedinici vremena
 - tvrdnja vrijedi samo za manje udaljenosti!
- niža cijena
 - mali broj linija (1 ili 2 + GND), niža kompleksnost izvedbe sabirnice i sklopova
- pogodno za veće udaljenosti
 - manja degradacija signala, nema preslušavanja
 - pogodno za *diferencijalnu* izvedbu prijenosa signala



Po usklađenosti - sinkroni

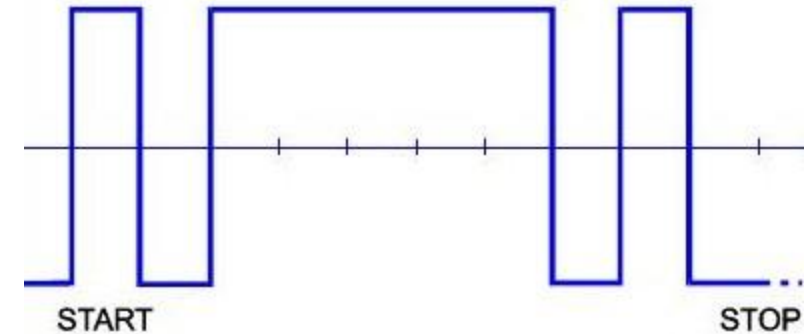
- Sinkroni prijenos:
 - pojava novog podatka vezana uz određeni vremenski trenutak određen sklopovljem za sinkronizaciju
 - omogućuje velike brzine, ali uz usklađenost predajne i prijamne strane
 - postoji zasebna linija za prijenos signala vremenskog vođenja



Po usklađenosti - asinkroni

- **Asinkroni prijenos**

- postoji znatna neprilagođenost u brzini komunikacije dvaju ili više komponenti sustava
- za svaki preneseni podatak treba obavijestiti predajnu stranu o uspješnosti prihvata podatka
- sinkronizacija predajnika i prijemnika
 - sklopovski: linije za rukovanje
 - programski: sinkronizacija dio komunikacijskog protokola



Unipolarni / diferencijalni signal (I)

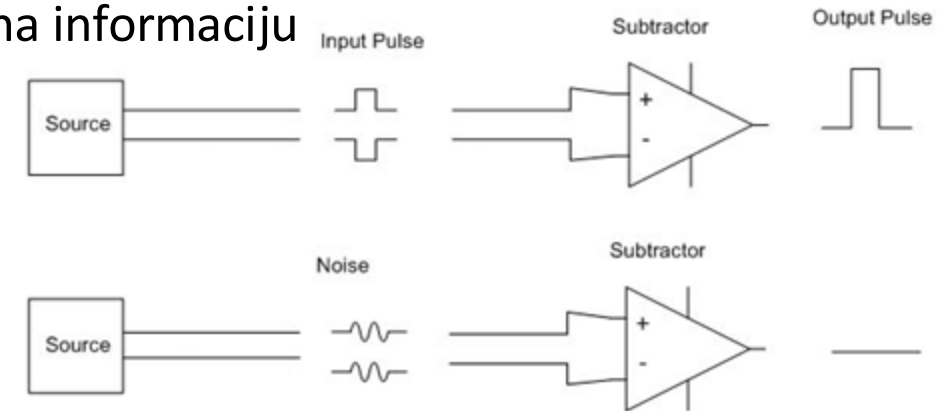
- Unipolarni signal

- Informacija je razlika potencijala prijenosne i referentne linije
 - npr. napon između linija TX i GND kod RS-232
- Za N signala treba nam N+1 linija
- Smetnje nastaju zbog:
 - razlike referentnog potencijala (mase) na predajnoj i prijamnoj strani
 - vanjskih utjecaja na prijenosnu liniju

Unipolarni / diferencijalni signal (II)

- Diferencijalni signal

- Dvama prijenosnim linijama prenose se dva komplementarna signala
- Na prijamnoj strani – informacija je razlika između potencijala linija
- Smetnje jednako utječu na obje linije, te se njihov utjecaj poništava
 - male razlike referentnog potencijala (mase) više ne utječu na informaciju



- Za N signala treba 2N prijenosnih linija

- Diferencijalni signal se najčešće prenosi **simetričnom linijom** (npr. parica)
 - dva vodiča istog tipa i jednake impedancije prema masi - minimiziran utjecaj smetnji
 - smetnje jednako utječu na oba vodiča
 - na prijamnoj strani signali se oduzimaju - "sličnosti" signala se gube

Broj uređaja u komunikaciji

- od točke do točke
 - izravno povezana dva uređaja
- sabirnica / mreža
 - više uređaja povezanih na sabirnicu/mrežu
 - single-master – samo jedan uređaj upravlja komunikacijom
 - multi-master – više uređaja može preuzeti ulogu upravljanja komunikacijom
 - peer-to-peer – ne postoji uloga upravljanja komunikacijom, svi uređaji ravnopravni
- načini adresiranja na sabirnicama / mreži
 - sklopovsko adresiranje uređaja – zasebnim upravljačkim linijama
 - adresiranje uređaja unutar komunikacijskog protokola (npr. polje adrese)
 - adresiranje tipa podatka (ne adresira se uređaj)

Po standardiziranost

- Ciljevi

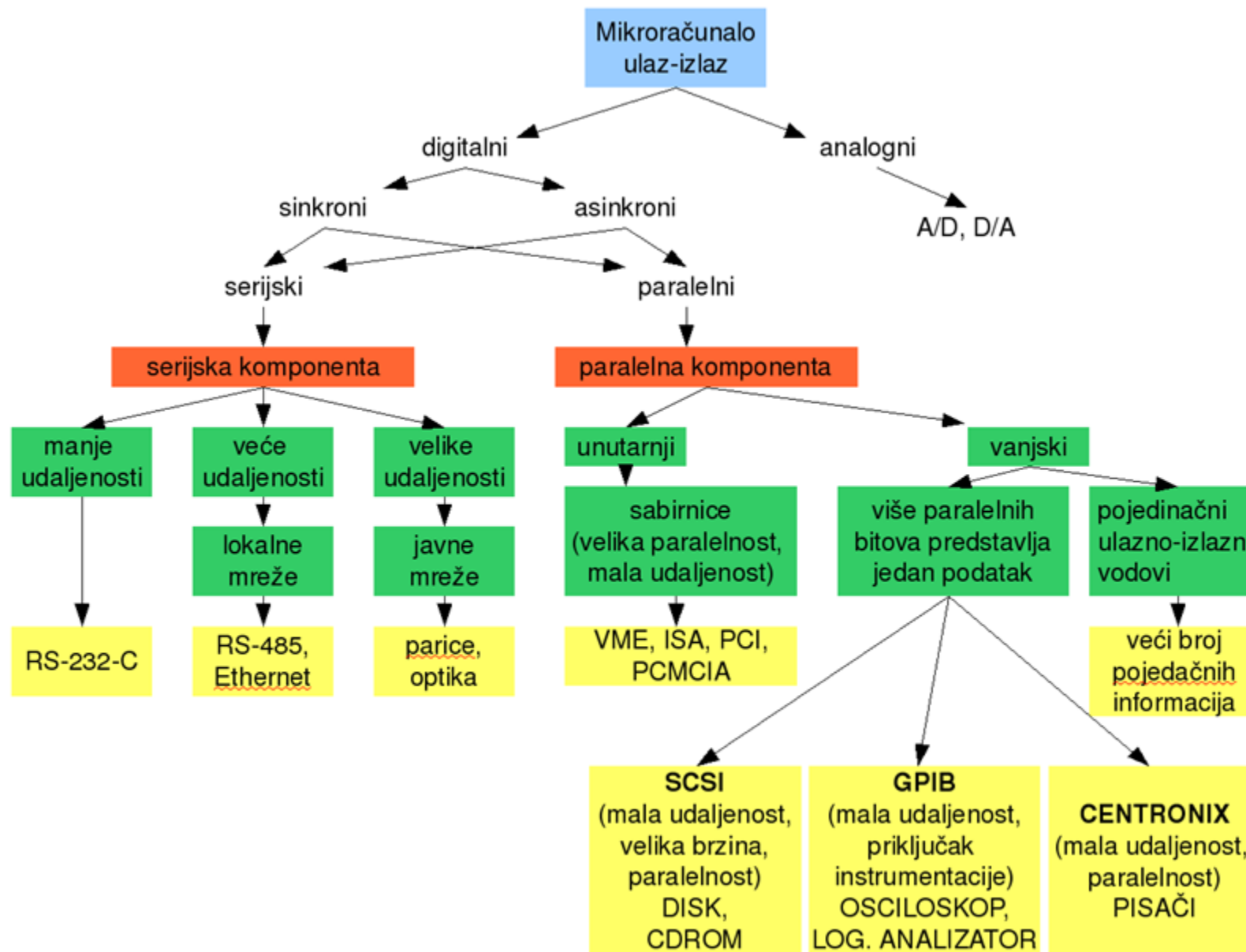
- iskoristiti postojeće norme
- nadograditi dobiveno rješenje
 - kompaktna, nedjeljiva cjelina

- Postoji i podjela na

- standardni načini povezivanja
 - šire rasprostranjeni i namijenjeni za povezivanje u različitim namjenama (granama tržišta)
 - primjenjivi od strane različitih proizvođača
 - ne postoje licencna ograničenja
- specifični (određena specifična namjena)
 - industrijsko umrežavanje
 - Primjer: Industrijski Ethernet



Komunikacija s okolinom - podjela





Komunikacija unutar računalnog sustava

I²C (Inter IC)

- Serijska multi-master sabirnica (*half-duplex*)
 - različita upravljačka elektronika
- Ranih 1980-ih, Philips
 - 100 kbit/s, 7-bitne adrese, do ~100 uređaja na sabirnici
- 1992. prva normirana inačica
 - 400 kbit/s, prošireni 10-bitovni adresni način, do ~ 1000 čvorova
- 1998. inačica 2.0
 - 3.4 Mbit/s, niži naponi i struje, manja potrošnja
- 2000. - inačica 2.1 – sređivanje verzije 2.0
- 2007. - inačica 3 – brzi način rada (Fm+), adr. ID

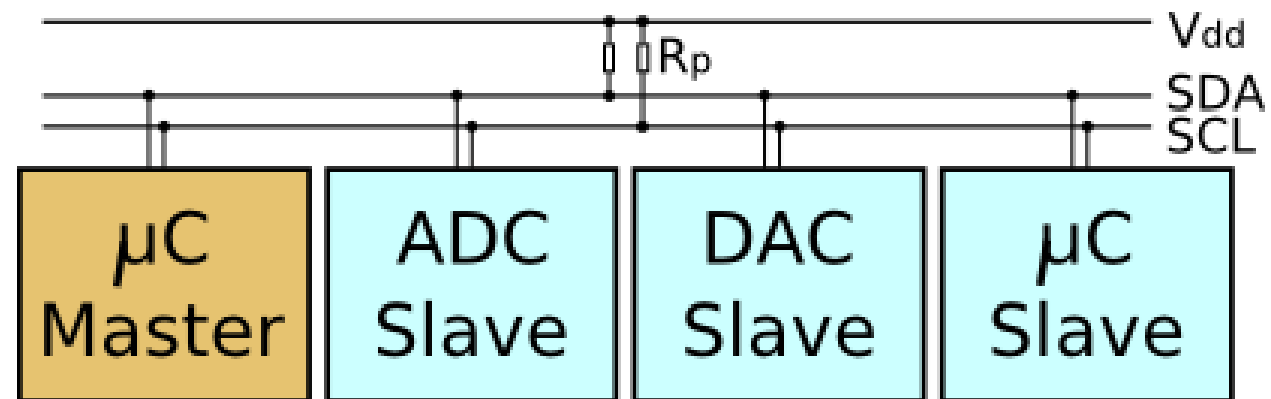
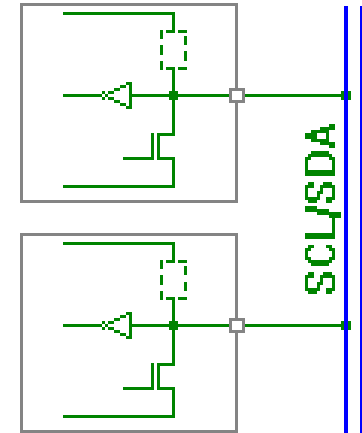
Namjena I²C

- Namjena

- priključenje **sporijih** periferija u računalne sustave, ugradbene sustave i sustave potrošačke elektronike
- osigurati **jednostavno** povezivanje različitih uređaja koji **ne traže brzu komunikaciju** ili **određenu brzinu**
- jednostavan mehanizam za arbitriranje na sabirnici, adresiranje uređaja, **niska cijena** (izvedba **mreže uređaja sa samo dvije linije**)
- *hot-swapping* – mogućnost oduzimanja / dodavanja novih uređaja na mrežu dok ostali rade

- SMBus – podvrsta I²C, stroža definicija (električka, protokolna) – robusnost

- 2 aktivne linije (*open drain*)
 - SDA (eng. Serial Data Line)
 - SCL (eng. Serial Clock Line)
 - Obje aktivne linije su dvosmjerne
 - *Open drain* izlazi uređaja spojenih na sabirnicu
 - nužni pull-up otpornici za definiranje stanja
- Fleksibilnost obzirom na naponske razine
 - mogu biti proizvoljne (ovisi o VDD), najčešće 5V ili 3.3V



- Referentni model

- 7-bitovne adrese uređaja
- 16 rezerviranih adresa
- Najviše 112 čvorova može komunicirati međusobno, to ovisi o
 - adresnom prostoru
 - ukupnom dopuštenom kapacitetu vodova od 400 pF

- Brzina

- Standardna – 100 Kbit/s
- Spora – 10 Kbit/s

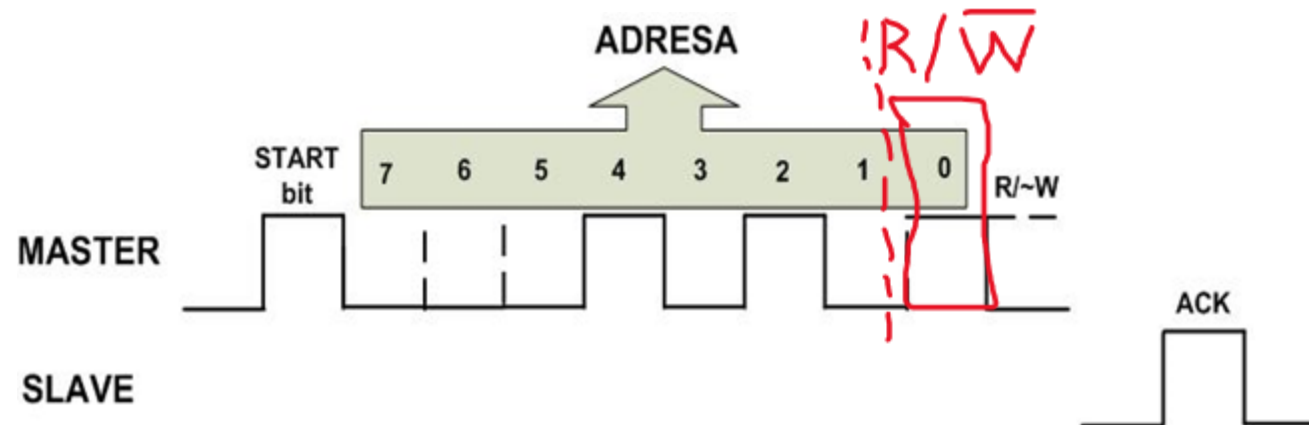
- Doseg

- nekoliko metara (zbog ukupnog kapaciteta linija 400 pf)

- Svaki uređaj ima jedinstvenu adresu bez obzira na tip (MCU, LCD, ...)
- 2 tipa uređaja
 - vodeći (eng. Master) – čvor koji generira *clock* i postavlja adresu pratećeg uređaja
 - prateći (eng. Slave) – prima *clock* i adresu
- Više uređaja mogu biti vodeći (*Multi-Master Bus*)
- Moguća zamjena uloga vodećeg i pratećeg između poruka (nakon slanja signala STOP)
- Nove implementacije
 - 400 Kbit/s, 1 Mbit/s
 - 3.4 Mbit/s

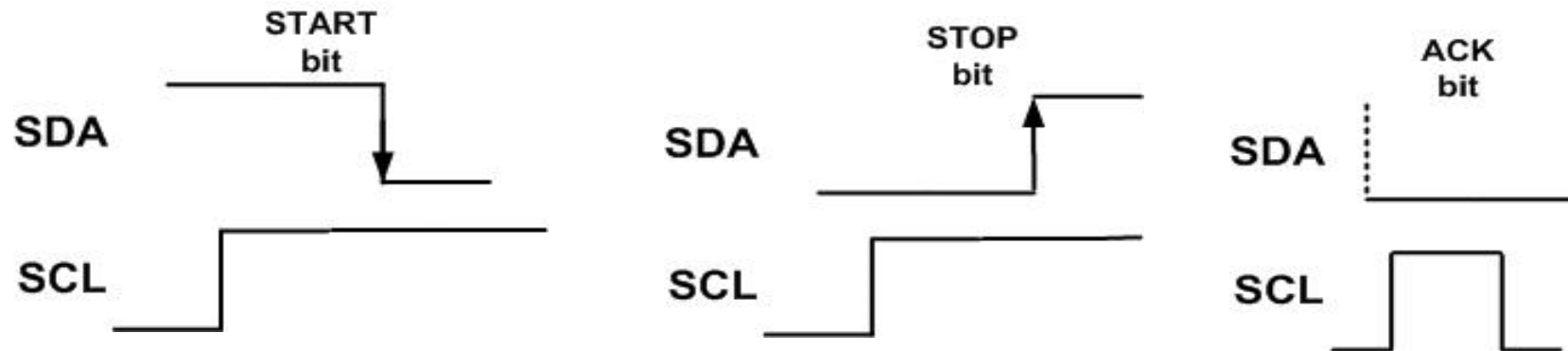
▪ Protokol

- 4 načina rada čvora
 - Vodeći: šalje podatke pratećem
 - Vodeći: prima podatke od pratećeg
 - Prateći: šalje podatke vodećem
 - Prateći: prima podatke od vodećeg
- vodeći uređaji su inicijalno u stanju slanja podataka te šalju start bit, 7 adresnih bitova te bit koji kaže žele li pisati ili čitati s pratećeg uređaja

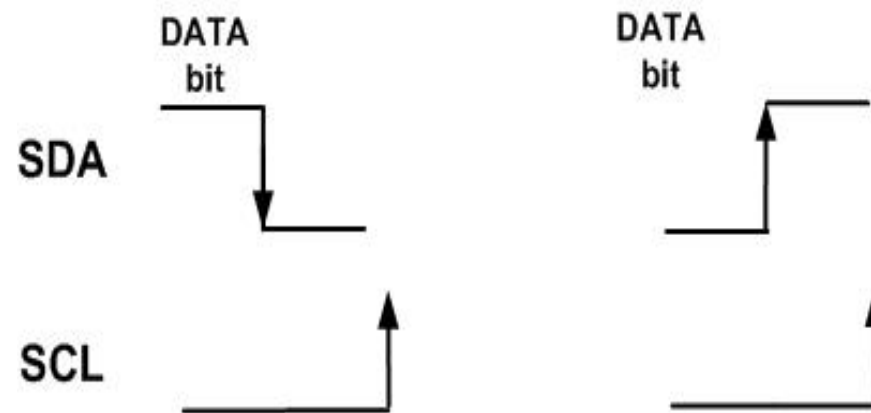


▪ Protokol

- Ako postoji adresirani prateći uređaj, on odgovara signalom ACK
- Nakon ACK-a, vodeći nastavlja slati/primati, prateći nastavlja komplementarno vodećem
- adresa – MSB pa LSB, izgled START, STOP i ACK bita



- Kod slanja podataka prijelazi na podatkovnoj liniji odvijaju se dok je linija SCL neaktivna
- Vodeći uzastopno šalje isti bajt dok od pratećeg ne primi ACK, tad prelazi na sljedeći bajt
- Vodeći uzastopno prima bajt (nakon primanja odgovara s ACK)



▪ Komunikacija

▪ 3 osnovna tipa poruka:

- Vodeći šalje jednu poruku pratećem
- Vodeći prima jednu poruku od pratećeg
- Kombinirane poruke – vodeći uređaj inicira slanje/čitanje dvije ili više poruka prema jednom ili više pratećih uređaja; iniciranje počinje sekvencom (START bit i adresa pratećeg uređaja); START bit se ponavlja prilikom slanja svake poruke; ako umjesto očekivanog STOP bita dođe novi START bit, prateći uređaj zna da dolazi nova poruka iz niza; ako dođe STOP bit, prekida se slanje

▪ Semantika poruka

- ni I²C ni SMBus ne definiraju semantiku poruka – to je specifično za određeni proizvod
- obzirom da je I²C standard definiran na niskoj razini (fizički + arbitrarni sloj), postoji niz alata za analizu I²C protokola – neki su ugrađeni u same modernije osciloskope, drugi su zasebni uređaji
- u praksi postoji niz USB-to-I²C pretvornika kako bi se svako osobno računalo moglo pretvoriti u I²C prateći / vodeći uređaj

▪ Sinkronizacija

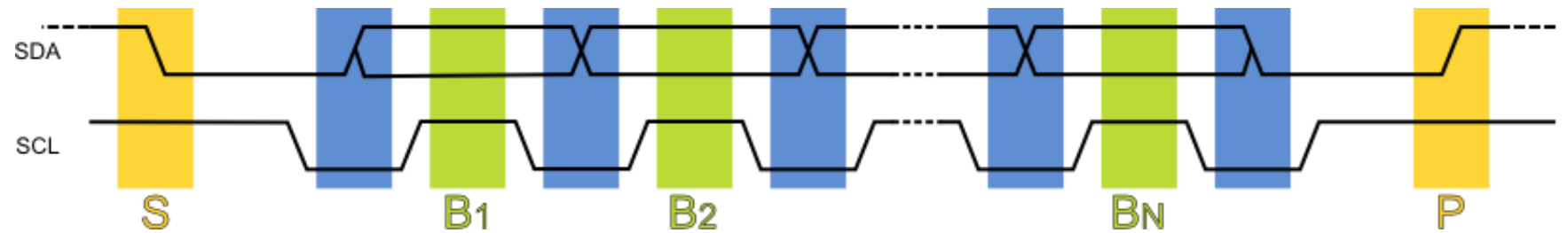
- ako jedan uređaj šalje, ostali to shvate po liniji SCL koja više nije *floating* (visoko stanje) već prelazi u nisku razinu
- to omogućava tzv. produženje signala vremenskog vođenja (*eng. clock stretching*) – ukoliko prateći uređaj nije spreman za nastavak transmisije, zadrži liniju SCL nisko – to detektira vodeći uređaj (nakon poslanog paketa otpusti liniju SCL i provjeri da li je visoko – ako nije, zna da ne smije slati dalje)
 - neka improvizirana "I²C" sučelja ne podržavaju produžavanje SCL-a – ta kategorija sučelja zove se dvokanalno sučelje (*eng. two-wire interface*)
- korisno i kod detekcije kolizije (dva vodeća uređaja – jedan prati sabirnicu i ukoliko se izmjenjuju START / STOP bitovi, neće započeti prijenos)

- Sinkronizacija preko linije SDA

- ako dva vodeća uređaja postavljaju SDA tako da uređaj A kaže 1, a uređaj B kaže 0, rezultat je 0
- oba uređaja usporede trenutno stanje (rezultat) s očekivanim stanjem
 - A nije zadovoljan i otpušta sabirnicu (prekida prijenos) te prati sabirnicu dok se ne pojavi STOP bit – nakon njega pokušat će ponovo
 - B je zadovoljan i nastavlja sa slanjem sve dok je tekuće stanje jednako očekivanom
- posljedica : uvijek će pobijediti onaj koji šalje nižu adresu – niže adrese imaju viši prioritet – **prioritetna sabirnica**

▪ Sinkronizacija

- dvije faze arbitriranja
 - adresna faza
 - ako oba vodeća uređaja šalju poruku istom pratećem uređaju, oba prolaze adresnu arbitraciju; arbitracija se nastavlja u podatkovnoj fazi
 - podatkovna faza
- ne podržavaju svi uređaji arbitražu – ovisi o implementaciji
- moguća arbitraža i sa pratećim uređajem – ukoliko prateći uređaj odgovara vodećem, a drugi vodeći želi slati



▪ Primjer rada

- promjena stanja na podatkovnoj liniji dok je SCL nisko
- karakterističan START i STOP bit (komb. SCL i SDA) – žuto
- plavo – bit koji se šalje
- zeleno – uzorkovanje sabirnice radi arbitraže

▪ Ograničenja

- relativno mala brzina u odnosu na druga rješenja (100-400 kBit)
- efektivna brzina prijenosa podataka još niža (adresiranje, ack, start, stop ...)
- velik broj definiranih brzina, vrlo mali broj uređaja ih sve podržava
- ograničenja u pogledu adresa i broja uređaja (ograničena mogućnost određivanja adresa, korištenja više istih uređaja u sustavu)
- automatska dodjela odnosno arbitriranje adresa na mreži – mali broj uređaja ga podržava

▪ Izvedene tehnologije

- sučelje *VESA Display Data Channel* (DDC)
- *System Management Bus* (SMBus)
- *Intelligent Platform Management Bus* (IPMB)
- TWI (*eng. Two Wire Interface*) od Atmela – u raznim rješenjima tipa SOC (*eng. System on a Chip*)

- Serial Peripheral Interface Bus (Motorola)
 - Sinkrona, serijska, dvosmjerna sabirnica
 - Prednosti pred paralelnim sučeljem
 - Jednostavnije ožičenje (serijsko)
 - Prednosti pred UART-om
 - Veće brzine prijenosa (takt može ići iznad 1MHz)
 - Prednosti pred I²C i SMBus-om
 - brži, dvosmjerna komunikacija (*eng. Full-Duplex*)
 - nema ograničenja broja bitova/poruci
 - arbitrarno generiranje duljine, sadržaja i namjene poruka
 - manja potrošnja, jednostavno sklopovlje
 - nema arbitriranja na sabirnici
 - prateći moduli koriste takt od vodećeg i ne trebaju kalibraciju
 - prateći moduli ne traže jedinstvenu adresu (kao kod SCSI, GPIB, I²C)

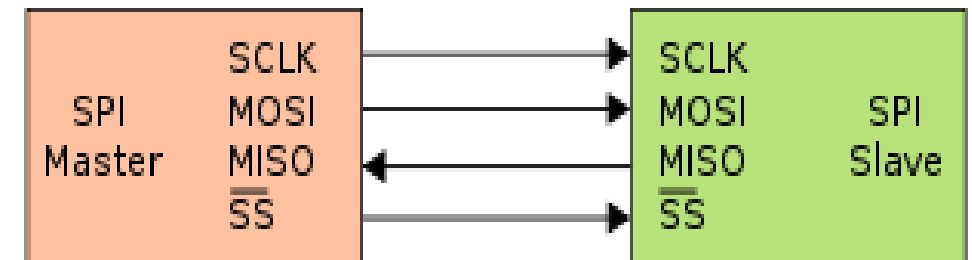
- **SPI - nedostatci**

- Više (4) linija od I²C-a (i u 3-pinskoj varijanti)
- Nema sklopovskog nadzora ispravnosti rada
- Nema sklopovske potvrde primitka poruke od pratećeg uređaja (ACK)
- Podržan je samo jedan vodeći uređaj
- Nemoguća je provjera normiranosti konkretne implementacije jer norma nije do kraja definirana
 - dozvoljene razne prilagodbe
- Pokriva samo kratke udaljenosti

- Povezivanje raznih vrsta uređaja
 - Najčešće μ C – periferija ili μ C – μ C
 - gotovo svi moderni mikrokontroleri : Atmel AVR, ARM, Microchip PIC
 - unutar sustava FPGA za komunikaciju između pojedinih modula
 - senzori, A/D - D/A pretvornici, memorije (FLASH, EEPROM), RTC (*Real Time Clock*) čipovi, LCD pokaznici, MMC / SD kartice
 - programatori, debuggeri (JTAG, SPI programatori)
 - Velika korisnička baza i dalje raste
 - niska cijena opreme
 - National Semiconductor kaže da je to Microwire
 - više proizvođača prisvaja to komunikacijsko sučelje i prilagođava ga vlastitim potrebama

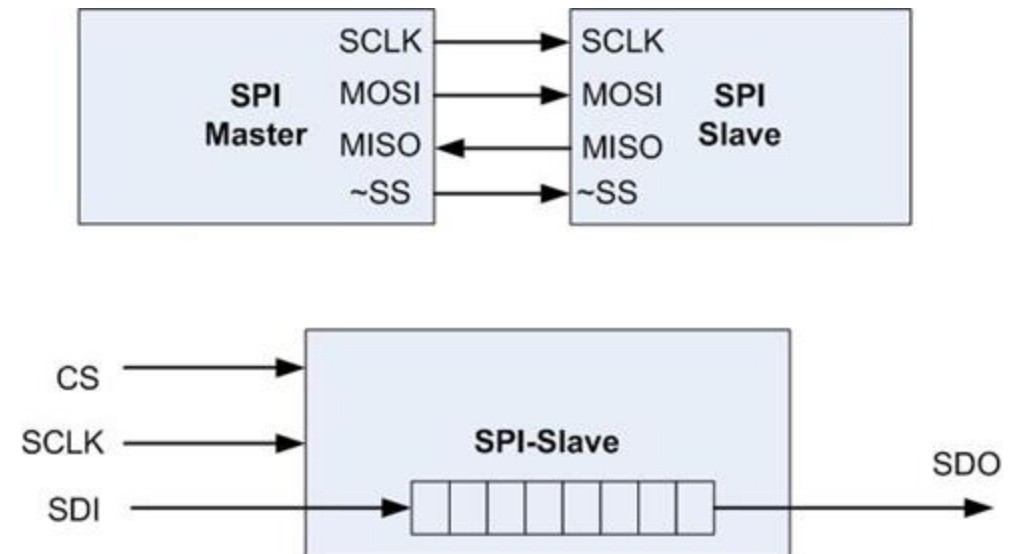
■ Princip rada

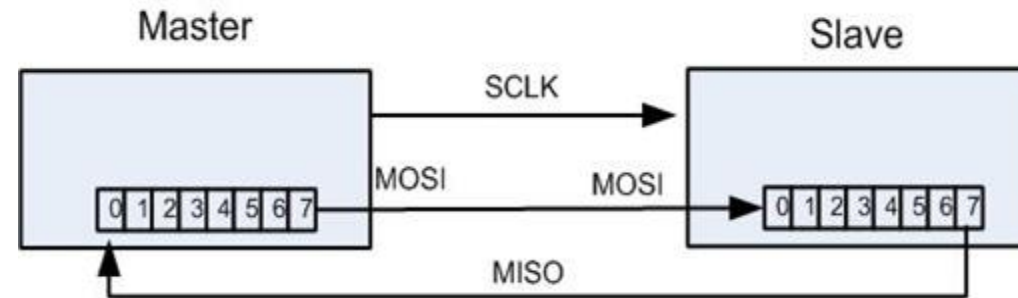
- Sinkrona serijska komunikacija između jednog glavnog (*Master*) i jednog ili više pratećih (*Slave*) uređaja
- Dvije upravljačke linije
 - SCLK (Serial Clock) - izlaz iz glavnog uređaja
 - SS (Slave Select) - izlaz iz glavnog uređaja (često aktivan na nisko stanje - oznaka $\sim SS$, \overline{SS})
- Dvije podatkovne linije
 - MOSI/SIMO (Master Output/Slave Input) - izlaz iz glavnog i ulaz u prateći uređaj
 - MISO/SOMI (Master Input/Slave Output) - izlaz iz pratećeg uređaja i ulaz u glavni uređaj



SPI

- Princip rada
 - Alternativna imena
 - SCLK - SCK, CLK
 - MOSI/SIMO - SDO, DO, SO (*Serial Data Out*)
 - MISO/SOMI - SDI, DI, SI (*Serial data In*)
 - SS, ~SS - nCS, CS (*Chip Select*), nSS, STE (*Slave Transmit Enable*)
 - Prijenos počinje spuštanjem linije CS i generiranjem signala



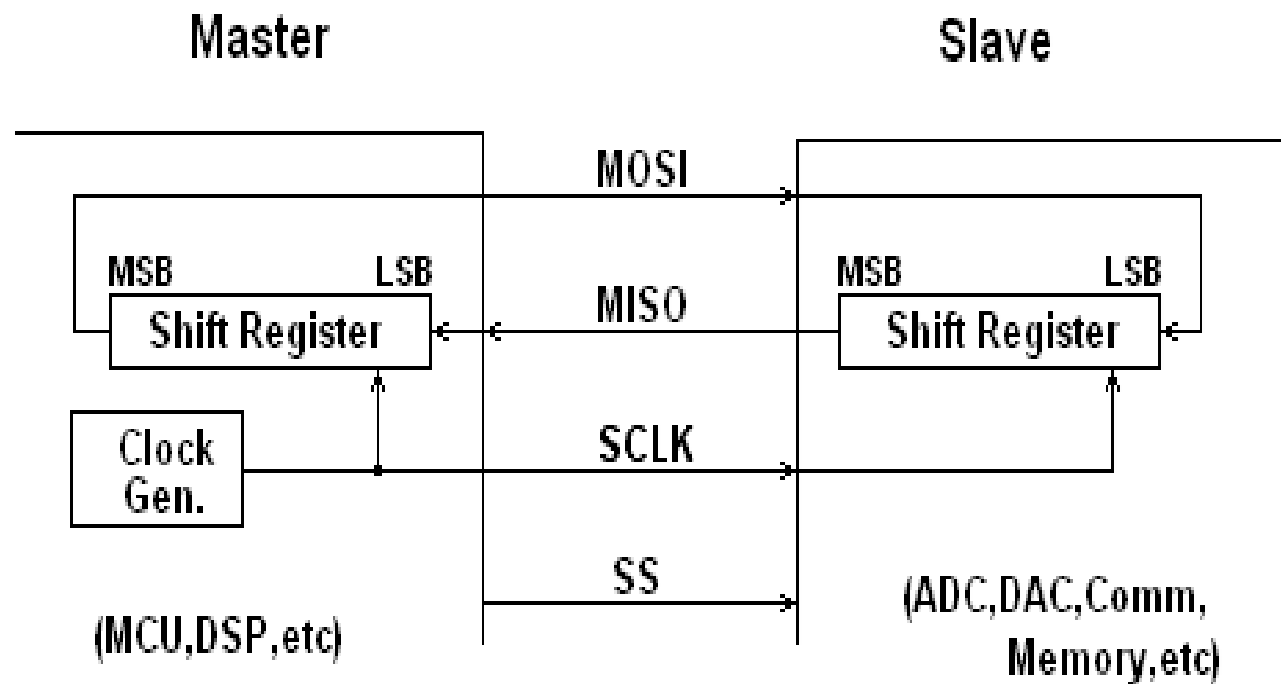


▪ Princip rada

- Ukoliko se koristi samo jedan prateći uređaj, $\sim SS$ može biti trajno vezana na GND (to se zove 3-pinska verzija SPI sučelja)
- Većina uređaja podržava izlaze s tri stanja
 - ukoliko uređaj nije odabran ($\sim SS$), linije su u stanju visoke impedancije
 - uređaji koji to ne podržavaju ne mogu dijeliti sabirnicu među sobom
- Brzina 1-70 MHz
- Signal vrem. vođenja daje glavni modul (*Master*)
 - Upravlja signalom CS – aktivira prateći modul s kojim želi komunicirati
 - za vrijeme jednog takta vrem. vođenja odvija se dvosmjerna komunikacija
 - Vodeći uređaj pošalje bit pratećem uređaju (MOSI)
 - Prateći uređaj pošalje bit vodećem uređaju (MISO)
- Posmačni registar – glavni gradivni element
 - Širina najčešće 8 bita ili cjelobrojni višekratnik tog broja, ali može biti proizvoljan (npr. 9-bitni EEPROM)

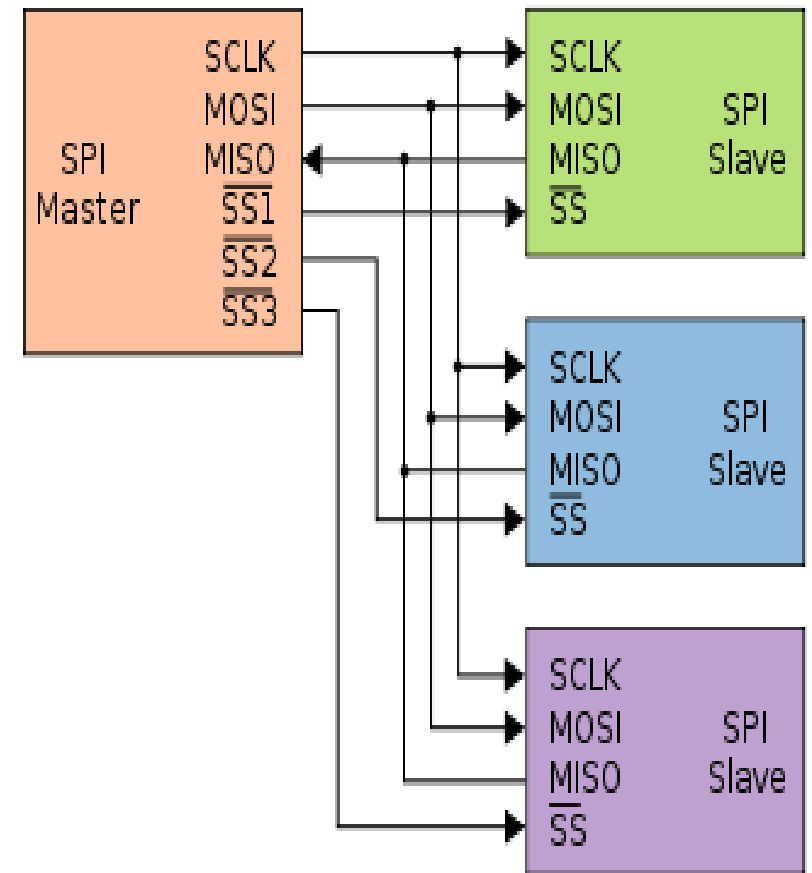
SPI

- Princip rada – model posmačnih registara
- kraj komunikacije – vodeći uređaj prestane generirati signal vrem. vođenja

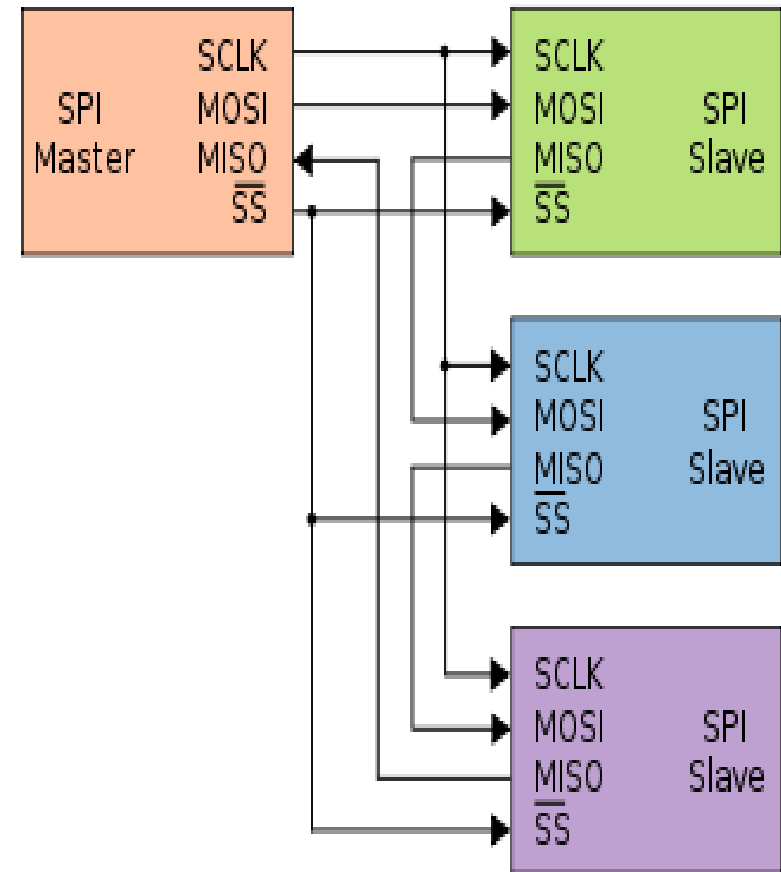


- Moguće je umrežavanje
 - Paralelno (neovisni prateći uređaji)
 - Jedan *Master*, više *Slave* uređaja (onoliko koliko CS-ova može imati *Master*)
 - u jednom trenutku odabran može biti samo jedan prateći uređaj – ostali ne smiju upravljati linijom MISO i moraju ignorirati podatke na liniji MOSI
 - Serijsko
 - Jedan *Master* (4 linije), više *Slave* uređaja – trik
 - eng. *Daisy Chain*

- Moguće je umrežavanje
 - Paralelno (neovisni prateći uređaji)
 - Jedan *Master*, više *Slave* uređaja (onoliko koliko CS-ova može imati *Master*)
 - u jednom trenutku odabran može biti samo jedan prateći uređaj – ostali ne smiju upravljati linijom MISO i moraju ignorirati podatke na liniji MOSI



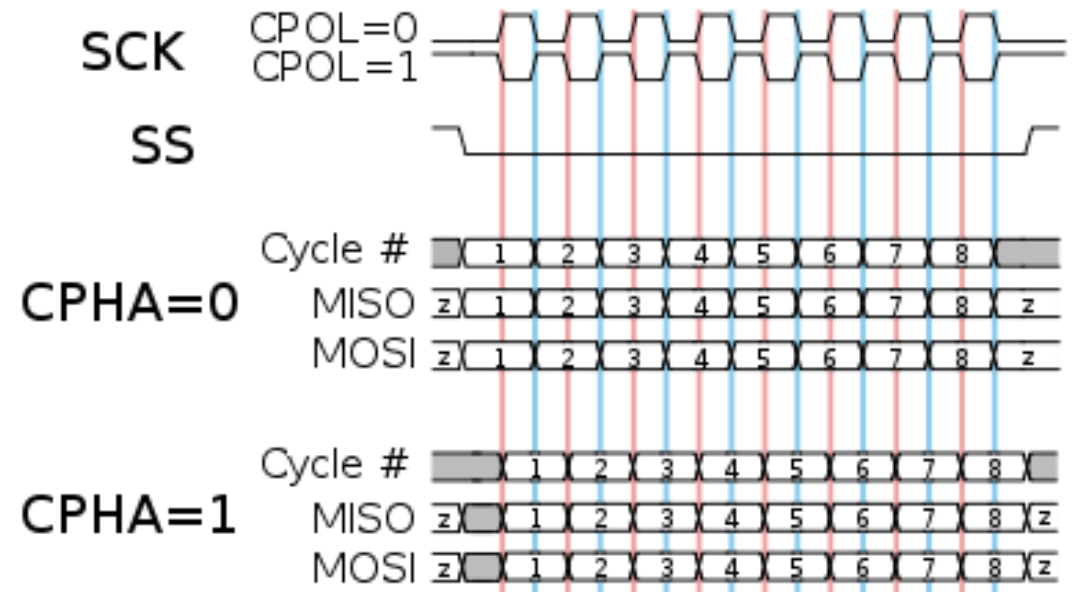
- Moguće je umrežavanje
 - Serijsko
 - Jedan *Master* (4 linije), više *Slave* uređaja – trik
 - eng. *Daisy Chain*



SPI - polaritet i pomak

- Različite konfiguracije polariteta i pomaka signala vrem. vođenja u odnosu na podatke – 2 parametra
 - CPOL – polaritet
 - CPHA – faza

Način	CPOL	CPHA
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1





Komunikacija između računalnih sustava (žična)



■ CENTRONICS

- norma temeljena na staroj slavi
 - velik broj računala s tim sučeljem
- naziv
 - tvrtka CENTRONICS prva u pisače ugrađivala ovo sučelje
- ukupno 36 izvoda, definirana 33
 - u praksi koristi se manje
- 8 podatkovnih linija
- Nedostatci
 - veliki broj žica (skupi kabel i konektor)
 - ograničene udaljenosti prijenosa
 - do susjednog uređaja

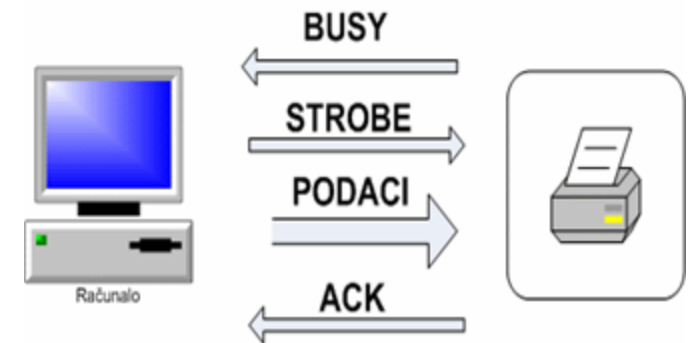
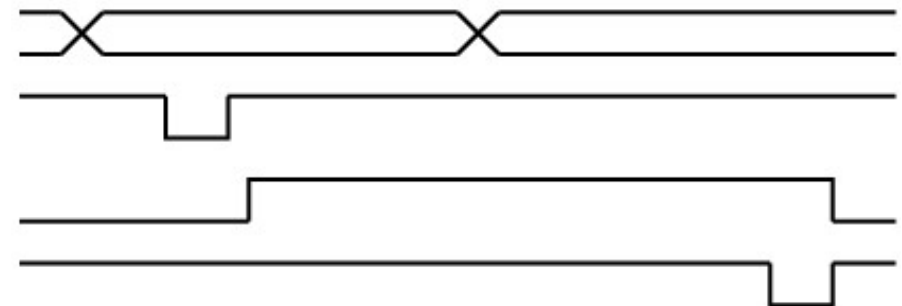


PODACI

STROBE

BUSY

ACK





- Pojavom složenih digitalnih mjernih instrumenata (osciloskopa, logičkih analizatora) raste potreba za povezivanjem instrumenata i računala
- Instrumenti spojeni na računalo:
 - lakše ih je podesiti za komplicirano mjerenje, konfiguracije se mogu spremati i pamtiti
 - rezultati mjerenja mogu se pratiti, spremati na disk, analizirati, obrađivati
- Instrumenti se mogu povezati u složeni mjerni sustav u kojem se svakim instrumentom može upravljati u procesu složenih mjerenja
- Konektori omogućuju spajanje jednog na drugi uređaj (linijski), sve u jedan (zvijezda) ili kombinacije
- Svakom uređaju postavlja se adresa pomoću njegovog korisničkog sučelja.





▪ Povezivanje instrumenata i računala

- računala – skladište podatke i parametre
- HP-IB (eng. Hewlett Packard Instrument Bus)
- GPIB (eng. General Purpose Instrument Bus)
 - povezivanje mjernih instrumenata i računala
 - dvosmjerna paralelna asinkrona sabirnica
 - do 15 uređaja na 20 m
 - 1 MB/s (proširena kasnije na 8 MB/s)
 - 24 pina
 - 8-bitovni podaci
 - 5 linija upravljanja sabirnicom
 - 3 linije za rukovanje "handshake"
 - 8 linija uzemljenja



▪ GPIB postala norma IEEE-488

- Linijski spoj (1:1), zvijezda spoj (sve u jedan)
- Tri tipa uređaja
 - slušatelj (Listener) – samo prima podatke
 - govornik (Talker) – šalje podatke kad se to od njega traži
 - kontroler (Controller) upravlja radom slušatelja i govornika
- U jednom trenutku samo jedan govornik
 - max. 14 slušatelja
- Svaki uređaj
 - namještanje (jedinствене) adrese pomoću prekidača
- Sklopovsko sučelje jednostavno za realizaciju

Serijska veza RS-232

- serijska dvosmjerna (*duplex*) razmjena informacija
- reliktnost prošlosti:
 - iz doba teleprinterica – korišten za spajanje teleprinterica i modema (cijeli uređaj po funkciji sličan današnjem faksu)
 - nekad: sklopovlje s puno šuma, loše ožičenje -> komunikacijski protokol treba biti robustan i otporan na grješke – koriste se visoke naponske razine
- RS-232 = *Recommended Standard 232*
- duga povijest i puno norma, najvažnije su:
 - RS-232-C (1969.)
 - RS-232-D (EIA-232-D – 1986.)
 - TIA-232-F (1997.)
 - V.24 (CCITT)



Norma RS-232-C

- Norma RS-232-C definira:
 - električke karakteristike signala
 - sučelja (konektore, funkcije pinova)
- Norma RS-232-C **NE** definira:
 - kodiranje znakova
 - uokvirivanje podataka (podatkovni/start/stop bitovi, paritet)
 - mehanizam otkrivanja grješaka ili algoritam kompresije podataka
 - brzine prijenosa

Norma RS-232-C

- Dva tipa uređaja
 - DTE (*Data Terminal Equipment*)
 - DCE (*Data Circuit-Terminating Equipment*)
- Dva tipa priključaka
 - dvoredni muški i ženski s 25 pinova (DB-25)
 - dvoredni muški i ženski s 9 pinova (DB-9)
- Dvije naponske razine
 - -12 V – logička jedinica, *MARK*
 - tolerira se do -5V na predajnoj i -3V na prijamnoj
 - +12 V – logička nula, *SPACE*
 - tolerira se do +5V na predajnoj i +3V na prijamnoj



Problemi

- Pojavom računala, pisača i sličnih uređaja za koje norma nije originalno zamišljena, dolazi do različitih implementacija i nekompatibilnosti:
 - nestandardni raspored pinova
 - nedostajući kontrolni signali
 - preniski naponi (+5/-5V umjesto +12/-12V)
- Kasnije
 - poštivanje norme
 - većina postojeće opreme komunicira bez problema
- Danas
 - serijski ~~port polako nestaje~~ nestao s računala, umjesto njega USB
 - No i dalje prisutan na ugradbenim uređajima (izravno ili USB-UART most)

Prednosti i mane

- **Prednosti**

- jednostavnost
- rasprostranjenost
- može se prenositi bilo što, norma ne definira protokol

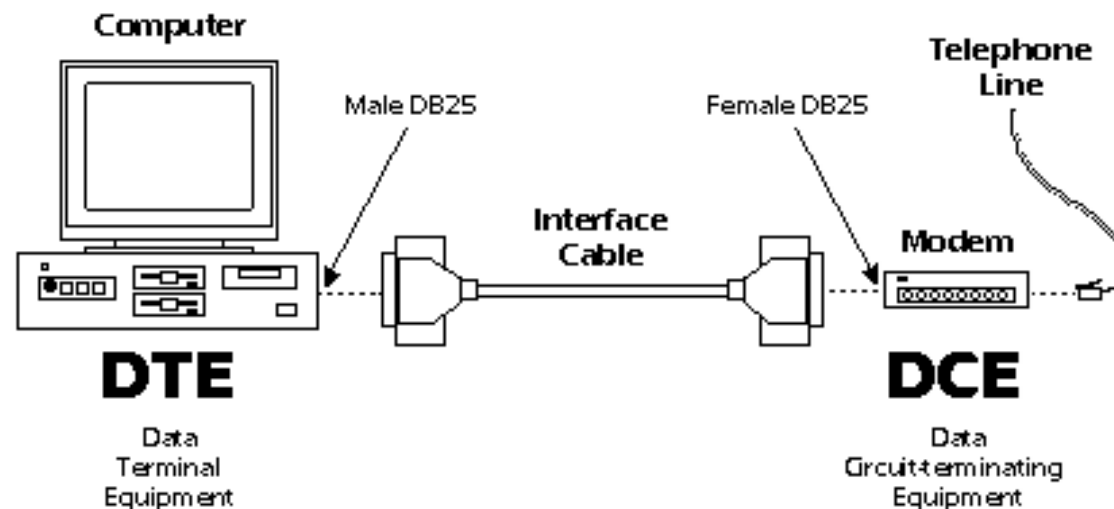
- **Mane**

- potrebni posebni, visoki naponi napajanja (-12V, +12V) u uređajima koji trebaju komunicirati
- kratka udaljenost
- povezivanje samo dva uređaja

Prijenos i usklađivanje (*handshake*)

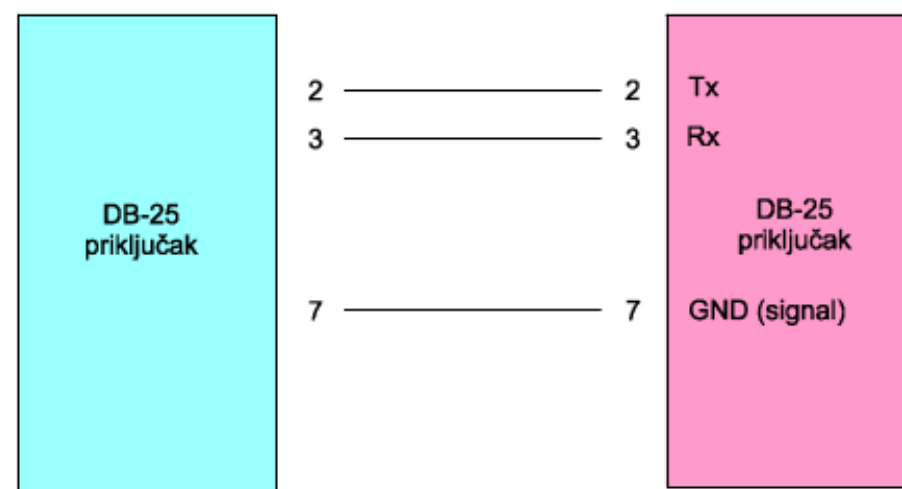
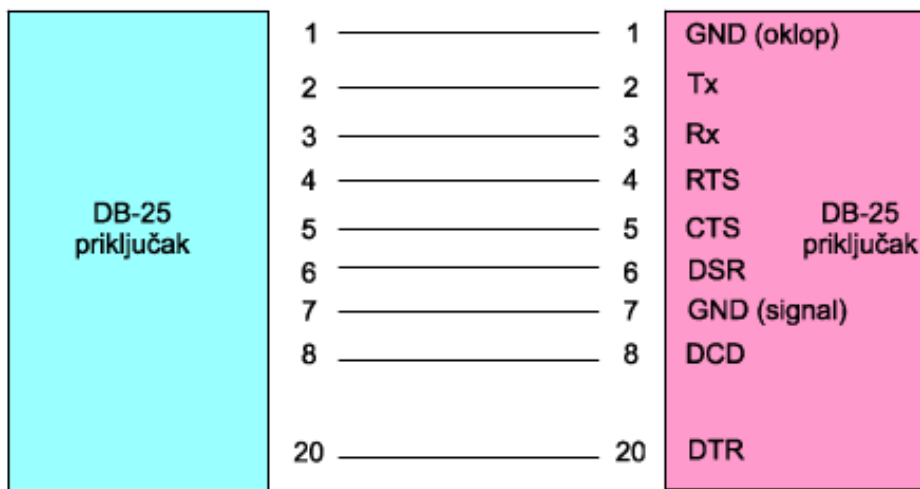
- Signali:
 - Tx (*Transmit*)
 - linija za slanje podataka
 - Rx (*Receive*)
 - linija za primanje podataka
 - DTR (*Data Terminal Ready*)
 - određuje spremnost uređaja na rad
 - RTS (*Request To Send*)
 - uređaj ima podatak za slanje
 - CTS (*Clear To Send*)
 - uređaj želi primiti podatak
 - itd...

Spajanje računala i modema



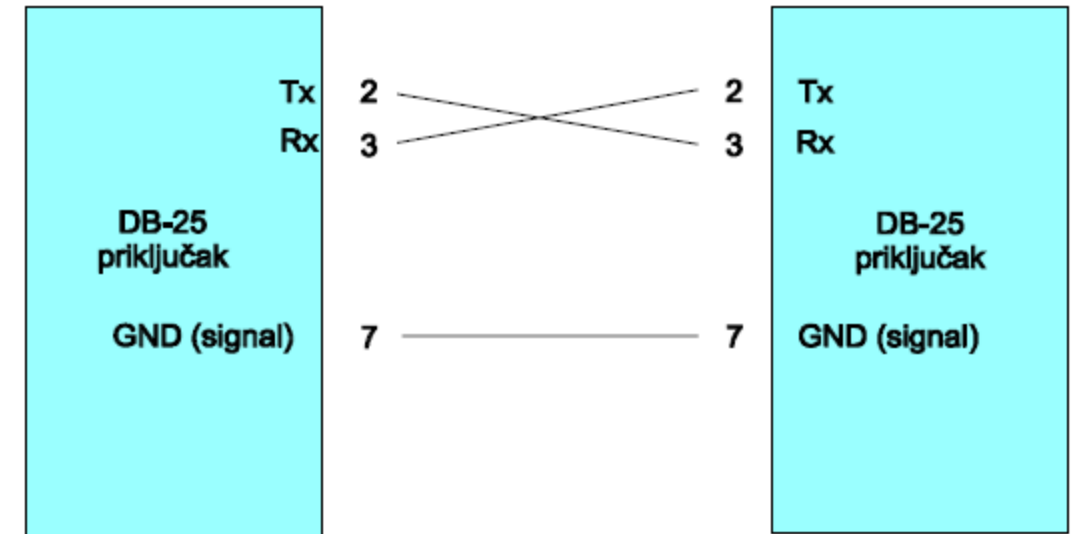
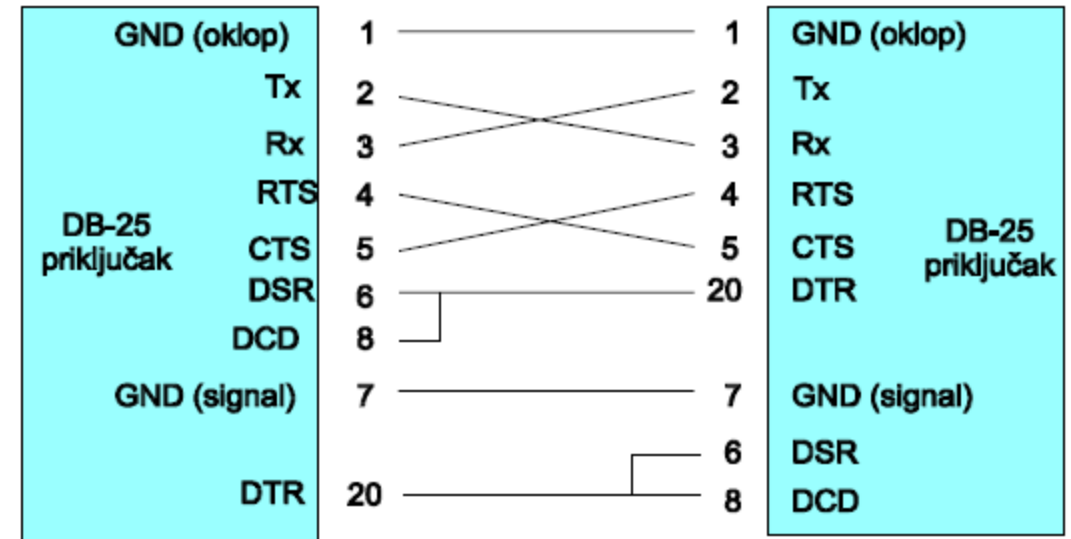
▪ sa svim signalima:

s minimalnim skupom signala:



Spajanje dva računala

- Sklopovsko usklađivanje (*handshake*)
 - posebne linije
- Programsko usklađivanje
 - protokol *Xon/Xoff* – prijatelj šalje *Xoff* (*Ctrl-S*) kada više ne može primiti i *Xon* (*Ctrl-Q*) kad opet postane spreman

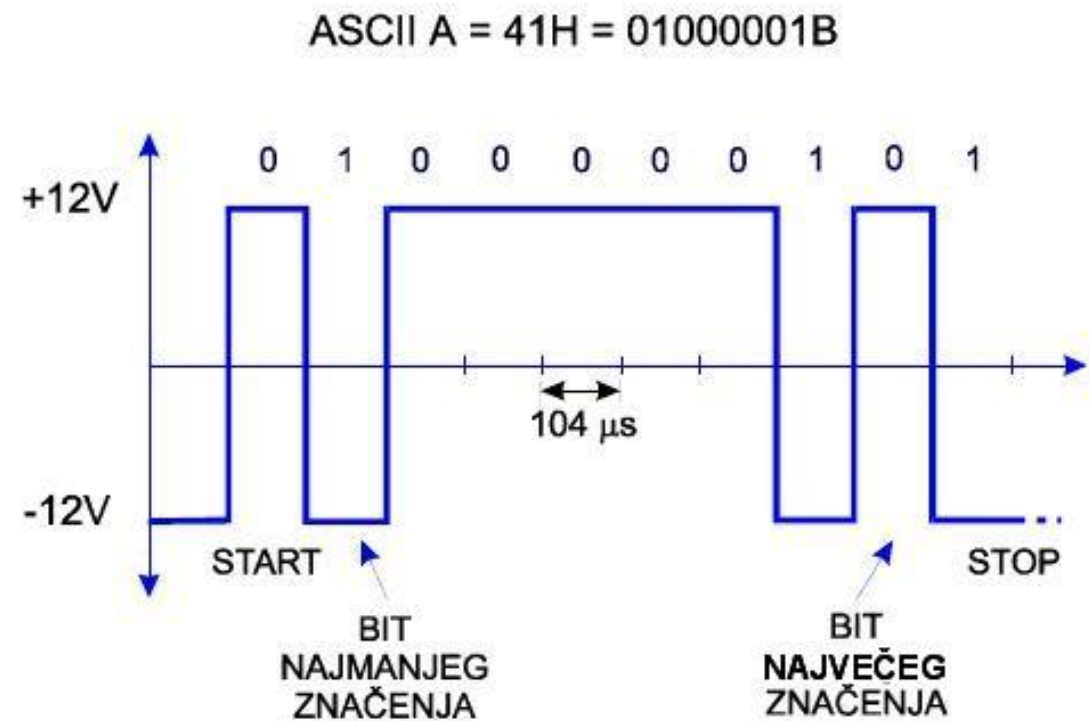


Prijenos podatka

- Treba nam sklop koji će podatak "bit po bit" predati fizičkom sučelju uz dodane sinkronizacijske bitove – asinkroni primopredajnik (*UART - universal asynchronous receiver/transmitter*)
- Najčešći asinkroni prijenos
 - znak po znak
 - prijenos počinje START bitom, slijedi informacija (5, 6, 7 ili 8 bitova), te eventualno paritet
 - na kraju jedan ili više STOP bitova
 - protokol mora biti poznat i usklađen na predajnoj i prijamnoj strani!

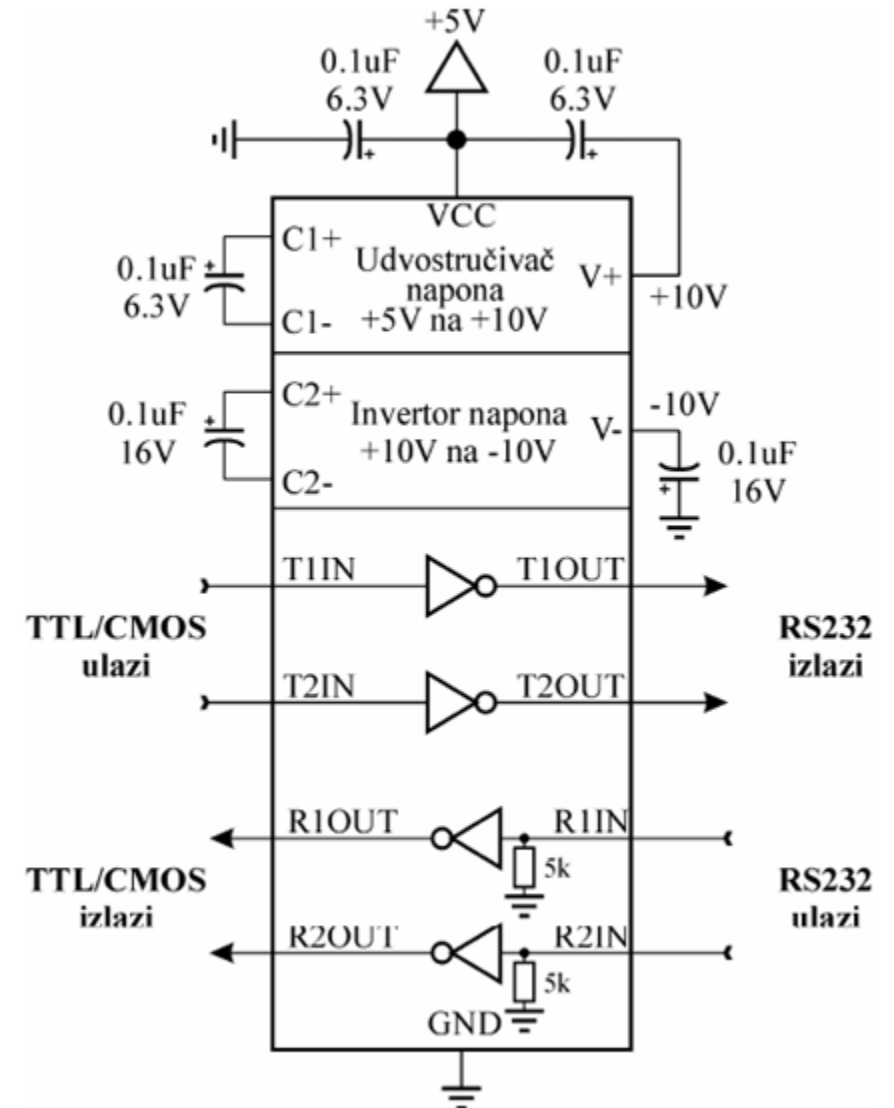
Prijenos slova "A"

- Parametri komunikacije su **9600 N 8**
 - asinkroni prijenos, brzina 9600 b/s,
 - bez pariteta (N = *no parity*),
 - osam bita korisne informacije

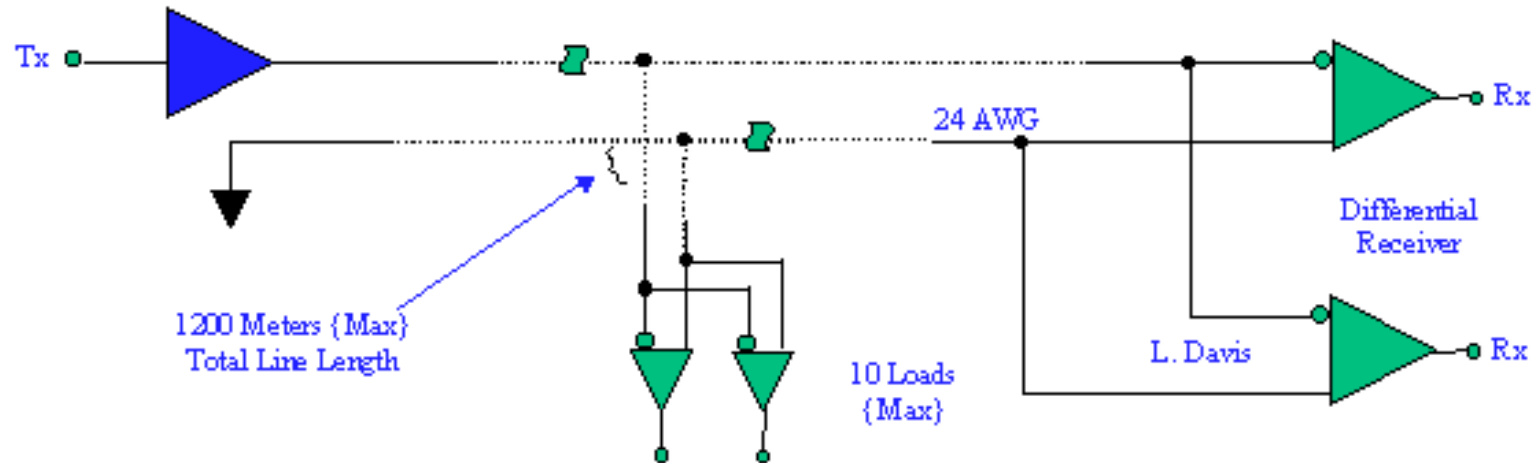


Fizička razina

- Osim sklopa UART, treba nam i sklop za prilagodbu naponskih razina
- URS – "integrirani sklop za pogon serijskog kabela"
 - MAX232
 - +3V - +15V <---> 0V
 - -3V - -15V <---> +5V
 - MAX3232
 - naponske razine 3V – 5.5V



EIA-422, EIA-423 (ili RS-422, RS-423)



■ Ispravljaju nedostatke RS-232-C

■ norma EIA-422-B

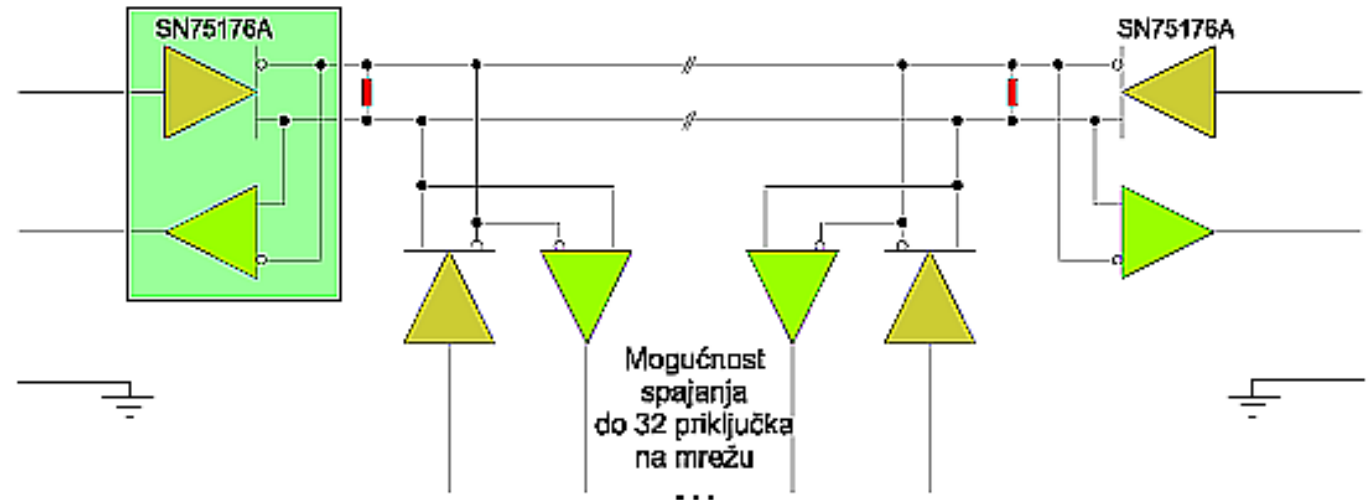
- diferencijalni signal (-6V - +6V), brži od RS-232 (do 10Mbit/s na 12m), udaljenosti do 1500m
- *point-to-point* ili *multi-drop* (jedan glavni uređaj uvijek šalje, ostali uvijek primaju) – moguće spojiti 11 uređaja (1 glavni + 10 prijarnika)

■ norma EIA-423-B

- kompromis između RS-232 i EIA-422 (do 100Kbit/s)
- samo ulazi prijarnika diferencijalni, izlazi predajnika su unipolarni

EIA-485 / RS-485

- Evolucija norme EIA-422
 - poboljšanje RS-422 (iste naponske razine, prijamnici i predajnici)
 - **multi-point** komunikacija – svaki uređaj može biti glavni
 - do 32 uređaja, do 1500 m udaljenosti
 - u bilo kojem trenutku prenosi se samo jedna poruka u jednom smjeru između dva ili više sugovornika (*half-duplex*)
- Norma definira svojstva prijamnika, predajnika i prijenosnog medija
- Brzina prijenosa ovisna u dužini prijenosnog medija

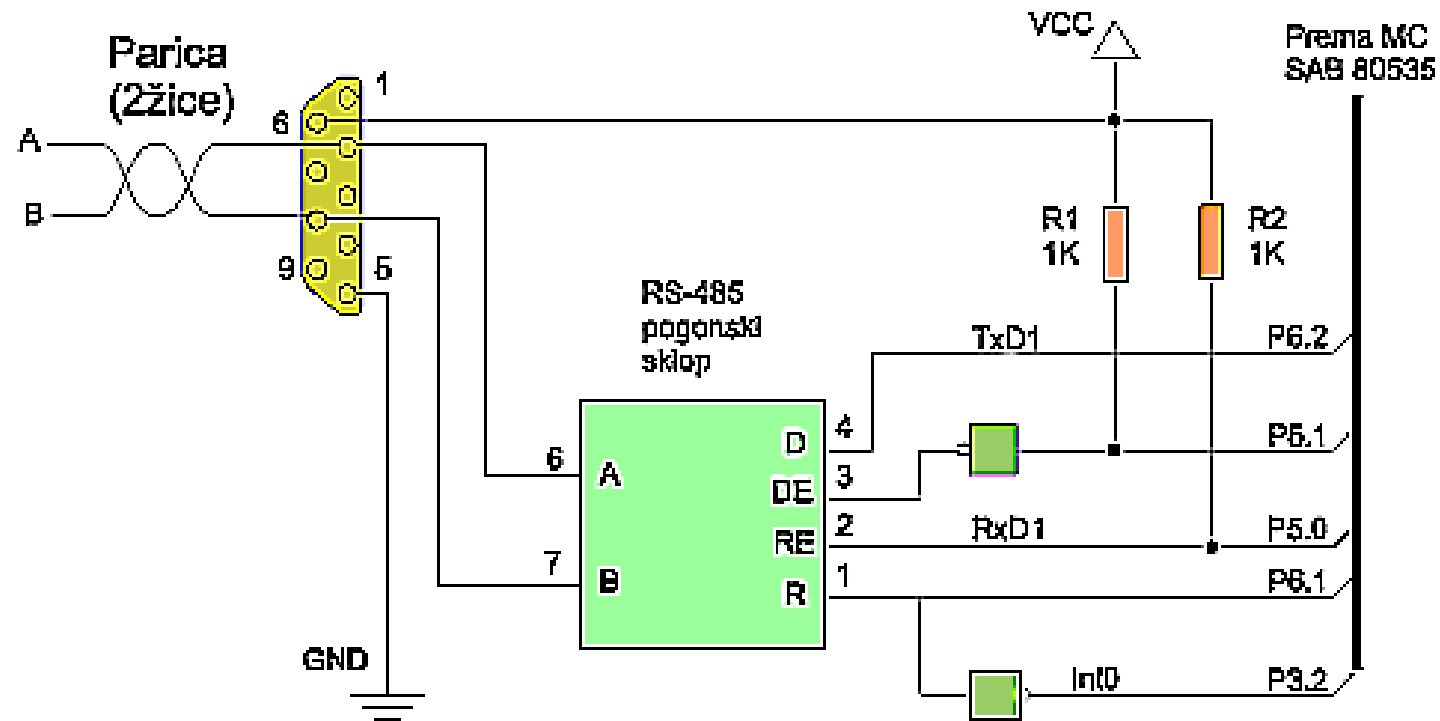


Norma EIA-485 (RS-485)

- Također propisuje samo električke karakteristike:
 - naponske razine signala
 - terminiranje linija
 - način izjednačavanja referentnog potencijala (mase) prijamnika i predajnika
- Ne propisuje:
 - protokol
 - funkcije pinova

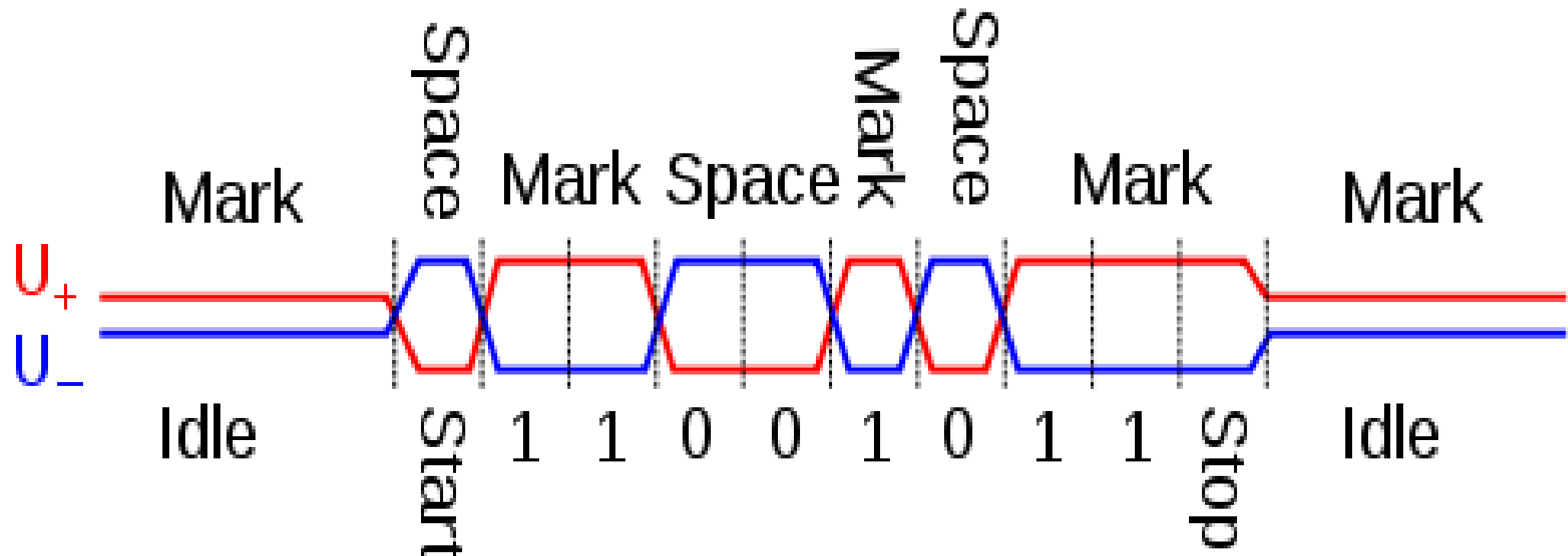
Fizička razina

- Slično kao i kod RS-232, treba na sklop UART i sklop za prilagodbu razina/generiranje diferencijalnog signala



Prijenos podatka

- asinkroni prijenos podatka D3₁₆ :



Pristup mediju

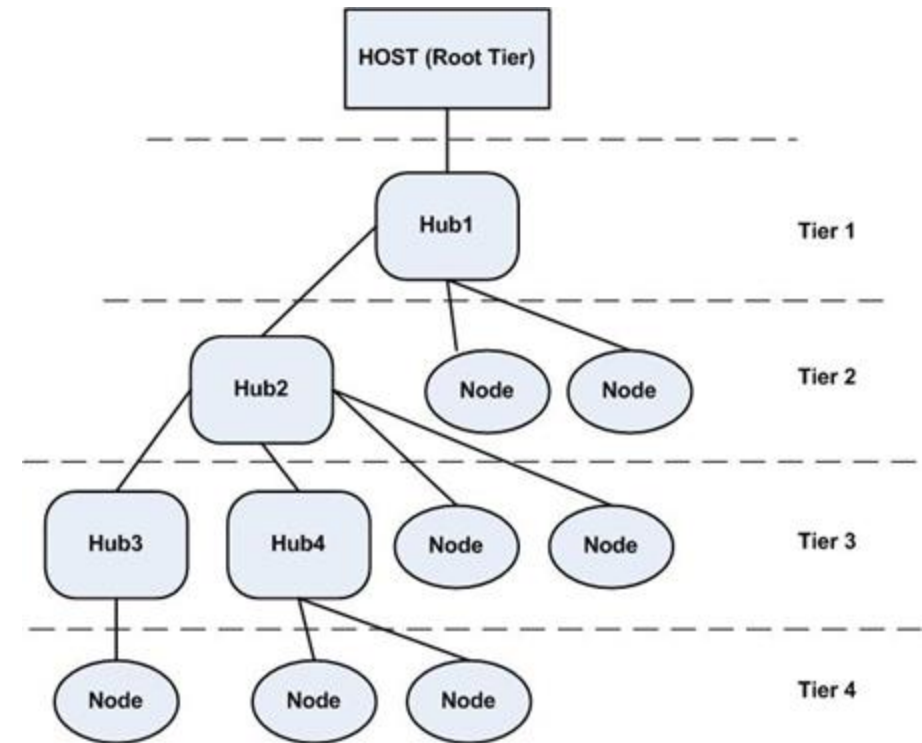
- 32 uređaja, svi ravnopravni
- jedna parica
- tko priča, a tko sluša?
 - nije definirano normom!?
 - u bilo kojem trenutku samo jedan uređaj može slati podatke, ostali uređaji osluškuju/primaju podatke namijenjene njima
 - jedno od rješenja:
 - jedan uređaj postaje glavni (*master*), ostali dobivaju adrese
 - u početku sporedni uređaji podešeni za prijam, glavni za slanje
 - glavni uređaj proziva sporedne
 - nakon što je prozvan, uređaj se podesi za predaju i postaje glavni
 - nakon što pošalje jedan paket opet prelazi u stanje prijama
 - -> asinkrona komunikacija, protokol mora biti poznat

EIA-485, temelj za druge protokole

- po treći put, norma definira samo električke karakteristike = moguća različita rješenja adresiranja, prijenosa podatka, detekcije grešaka
- norma EIA-485 je temelj za:
 - Profibus (*Process Field Bus*) – industrijska norma za komunikaciju između osjetila, izvršnih članova i upravljačkih jedinica



- Sinkroni (u ritmu)
- Asinkroni (inicijator ne treba čekati na završetak aktivnosti, uređaj se javi kad je gotov)
 - prienos će biti kompletan ali se ne zna kad će završiti
- Izosinkroni
 - definirana propusnost ali prienos može imati gubitke (audio, video)
- Fizička razina prijenosa
 - Oklopljeni kabele s četiri voda
 - dva voda napajanje ($V_{bus}+GND$)
 - Napajanje nominalno 5V na izvoru -- 500-1000[mA];
 - parica za podatke – diferencijalni vodovi.
 - kvaliteta kabela ovisi o ciljnoj





Controller Area Network

CAN – što je što ...

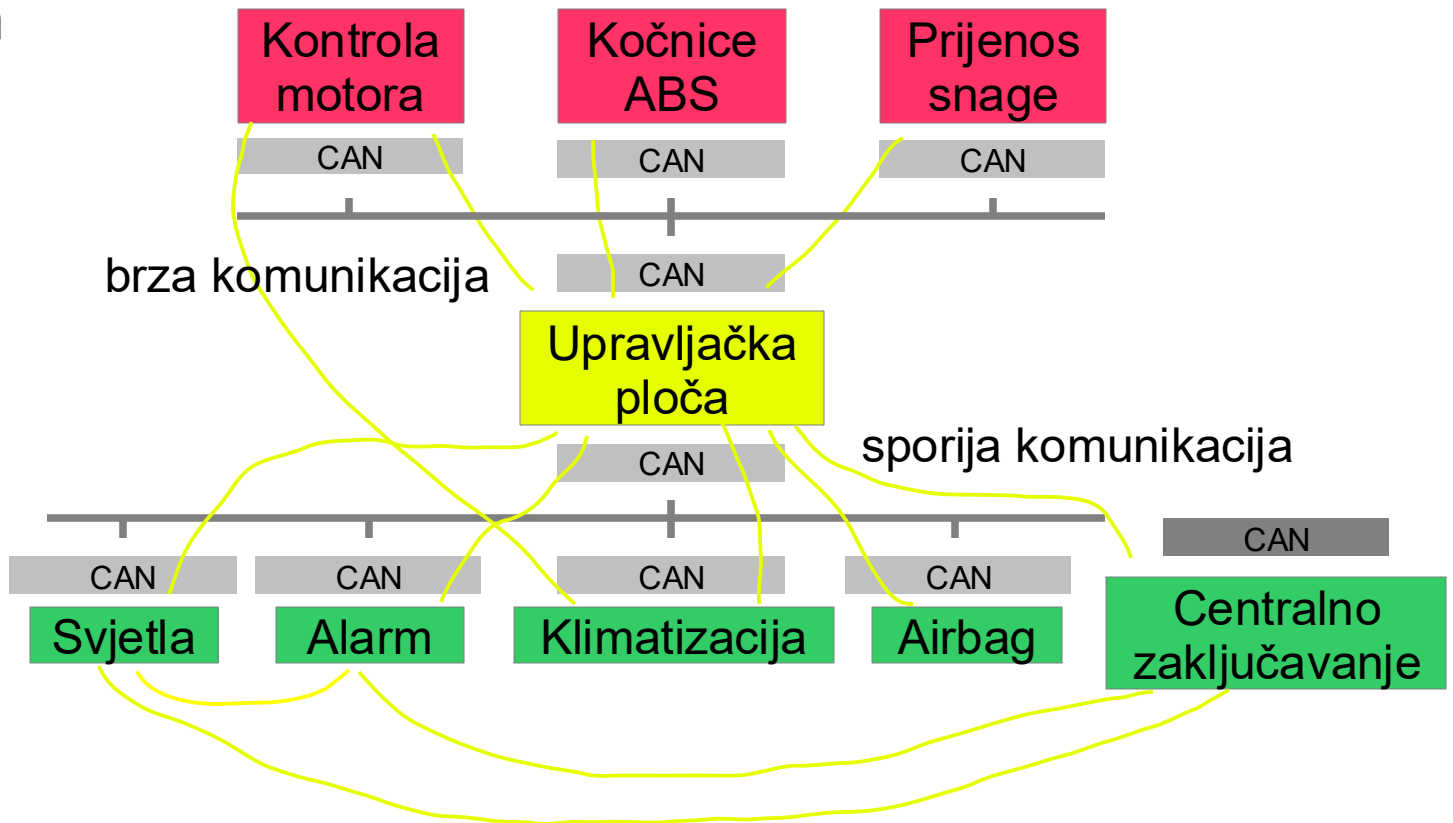
- **CAN** - Controller Area Network
- **Recesivni bit** - logička jedinica na CAN sabirnici
 - objašnjenje u nastavku uz opis svojstava CAN sabirnice
- **Dominantni bit** - logička nula na CAN sabirnici
- **CRC** - Cyclic Redundancy Checking
- **Paket** - skup korisnih podataka koji se prenose u jednom CAN okviru
- **CAN Okvir** - *engl. CAN frame* - niz bitova kodiranih po CAN udružljivom protokolu koji sadrži korisne podatke i potrebne kontrolne bitove za siguran prijenos podataka i sinkronizaciju
- Visok stupanj standardizacije
 - ISO11898 i ISO11519-2

Što je CAN ?

- Brza serijska sabirnica razvijena kasnih 80-ih godina za potrebe auto-industrije
- *Robert Bosch GmbH*
- Za brzine prijenosa do 1Mbit/s @ 40 m duljine sabirnice, CAN FD 8Mbit/s
- Otvorena, linearna, multi-point arhitektura sabirnice
- Robusnost:
 - diferencijalni vodovi - otpornost na vanjske EMS smetnje
 - efikasne metode otkrivanja i popravljanja grješaka u prijenosu

Zašto CAN?

- Veliki broj električnih i elektroničkih uređaja u vozilu
- Potreba za njihovim povezivanjem i međusobnom komunikacijom, dvije mogućnosti:
 - diskretno direktno ožičenje svih potrebnih veza
 - standardizirana brza sabirnica



Osnovna svojstva CAN-a

- **Pouzdanost**

- napredne metode otkrivanja pogrešaka u prijenosu
- ako grješka, poruka se šalje ponovno
- svaki čvor informiran o grješkama
- visoka imunost na vanjske EMS smetnje
- primjer: pri 500kBit/s, 25% opterećenja, 2000 sati rada na godinu očekuje se jedan neotkriveni krivi paket

- **Relativno niska cijena**

- povoljni odnos cijena/kvaliteta
 - sabirnica sa samo dva voda
- CAN međusklopovi širokodostupni na tržištu;

Osnovna svojstva CAN-a (2)

- Rad u stvarnom vremenu

- podaci se prenose u kratkim porukama, do 8 okteta (CAN FD do 64 okteta);
- vrlo malo kašnjenje između zahtjeva za prijenos i samog prijenosa podataka
- CSMA/CD+AMP metoda arbitriranja pristupa sabirnici
 - nedestruktivna metoda;
 - ne gubi se dodatno vrijeme na usaglašavanje sudionika u prometu

- Fleksibilnost

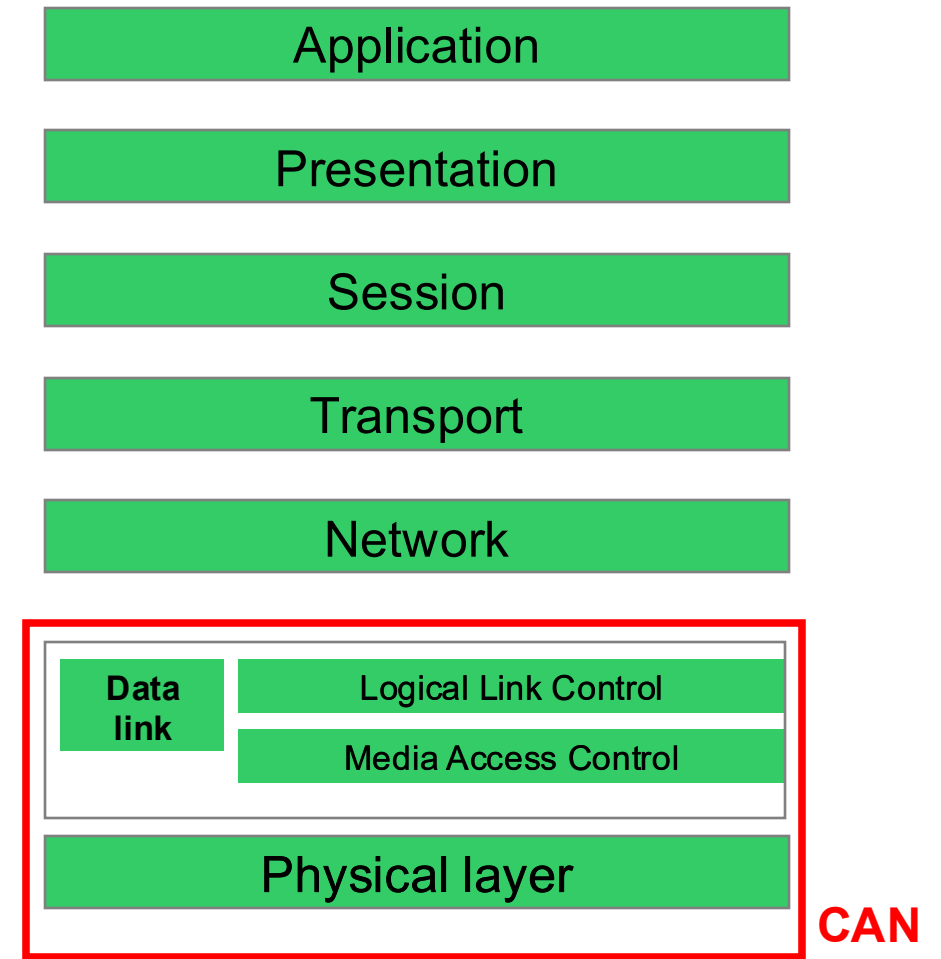
- CAN točke se mogu jednostavno spajati i odspajati
 - *plug & play*
- broj točaka nije ograničen protokolom

Osnovna svojstva CAN-a (3)

- Zadovoljavajuća brzina prijenosa (s obzirom na namjenu)
 - 1 Mbit/s @ 40m
 - 40 kBit/s @ 1000m
- Multi-master sabirnica
 - svaka CAN točka ravnopravna na sabirnici
 - podaci se ne prenose prema “pokvarenim” točkama
 - autodetekcija kvara i autoisključivanje pokvarenih točaka
 - podaci se mogu prenositi prema jednoj ili više točaka
 - više točaka u isto vrijeme može primiti podatke

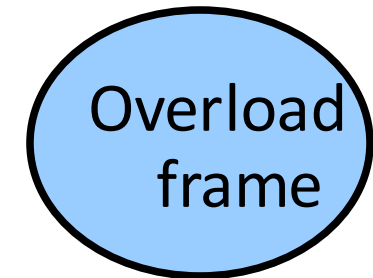
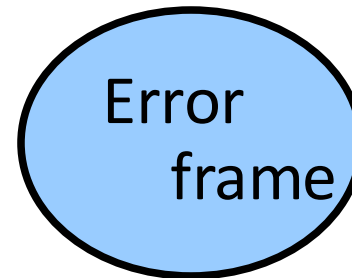
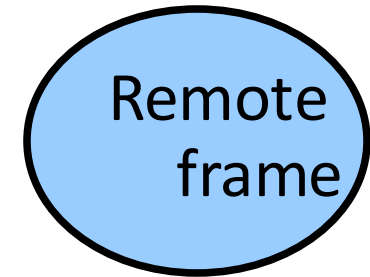
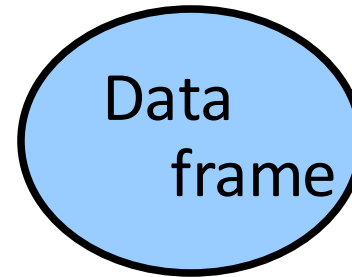
ISO OSI CAN Model

- OSI - *Open Systems Interconnection*
- CAN norme definiraju dvije najniže razine:
 - data link razinu
 - fizičku razinu
- **data link** razina definira način pretvorbe digitalnih podataka u slijed bitova prema zadanim formatima okvira (*frame*)
- **fizička razina** definira potrebna svojstva medija za prijenos signala, bez obzira na vrstu medija (parica ili CAN svjetlovod)



Formati CAN okvira podataka

- **Data frame** - osnovni okvir, sadrži do 64 bita korisnih podataka;
- **Remote frame** - jednostavni okvir bez podataka - predstavlja zahtjev za određenim podatkom - data frame je odgovor;
- **Error frame** - odgovor na grješku;
- **Overload frame** - šalje ga točka koja želi odgoditi slanje sljedeće poruke prema njoj



Formati CAN okvira podatka

Okvir podatka (2)

Elementi okvira podatka i remote okvira:

start frame bit

polje bitova za arbitriranje sabirnice

polje kontrolnih bitova

polje bitova s podacima

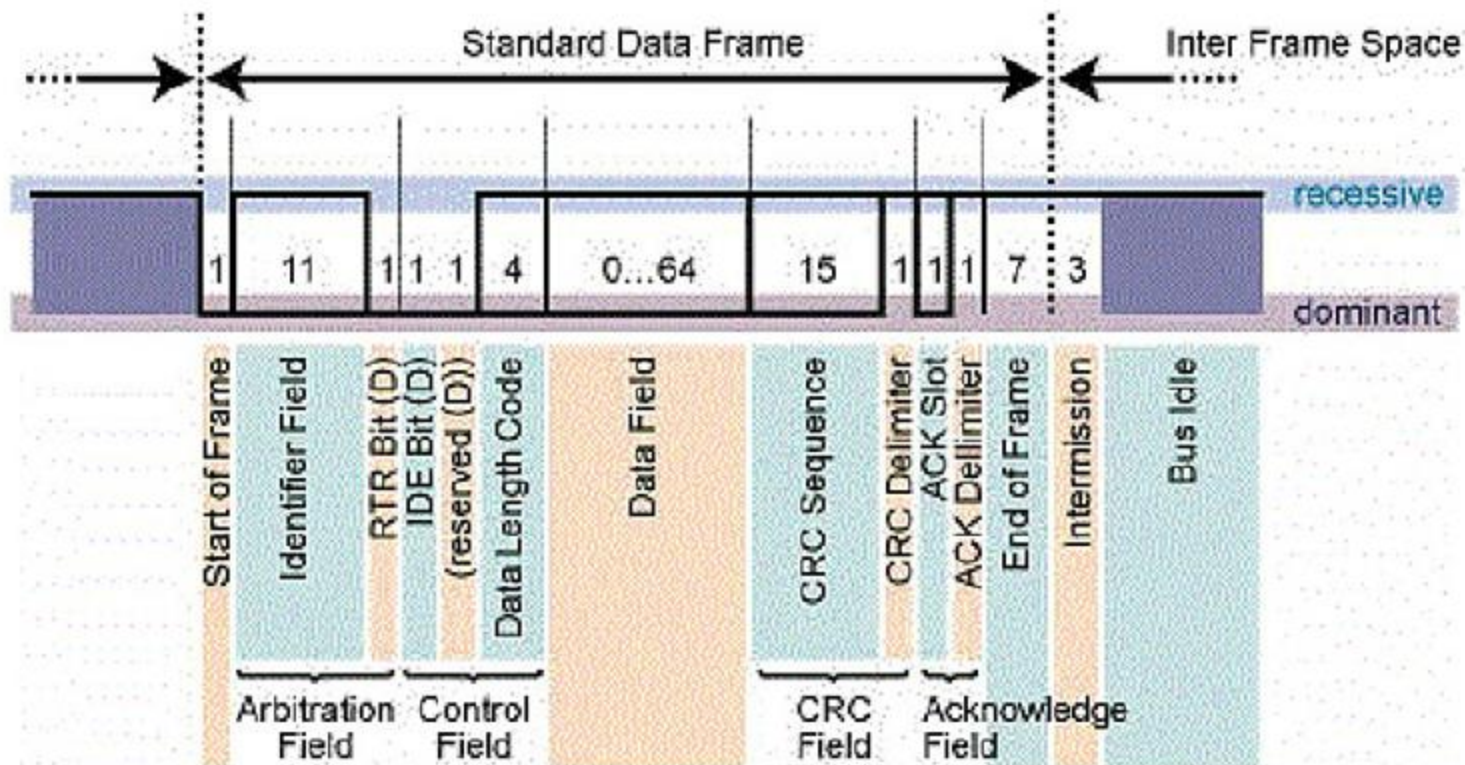
promjenjive duljine (0...64 bita)

nema ga kod remote okvira

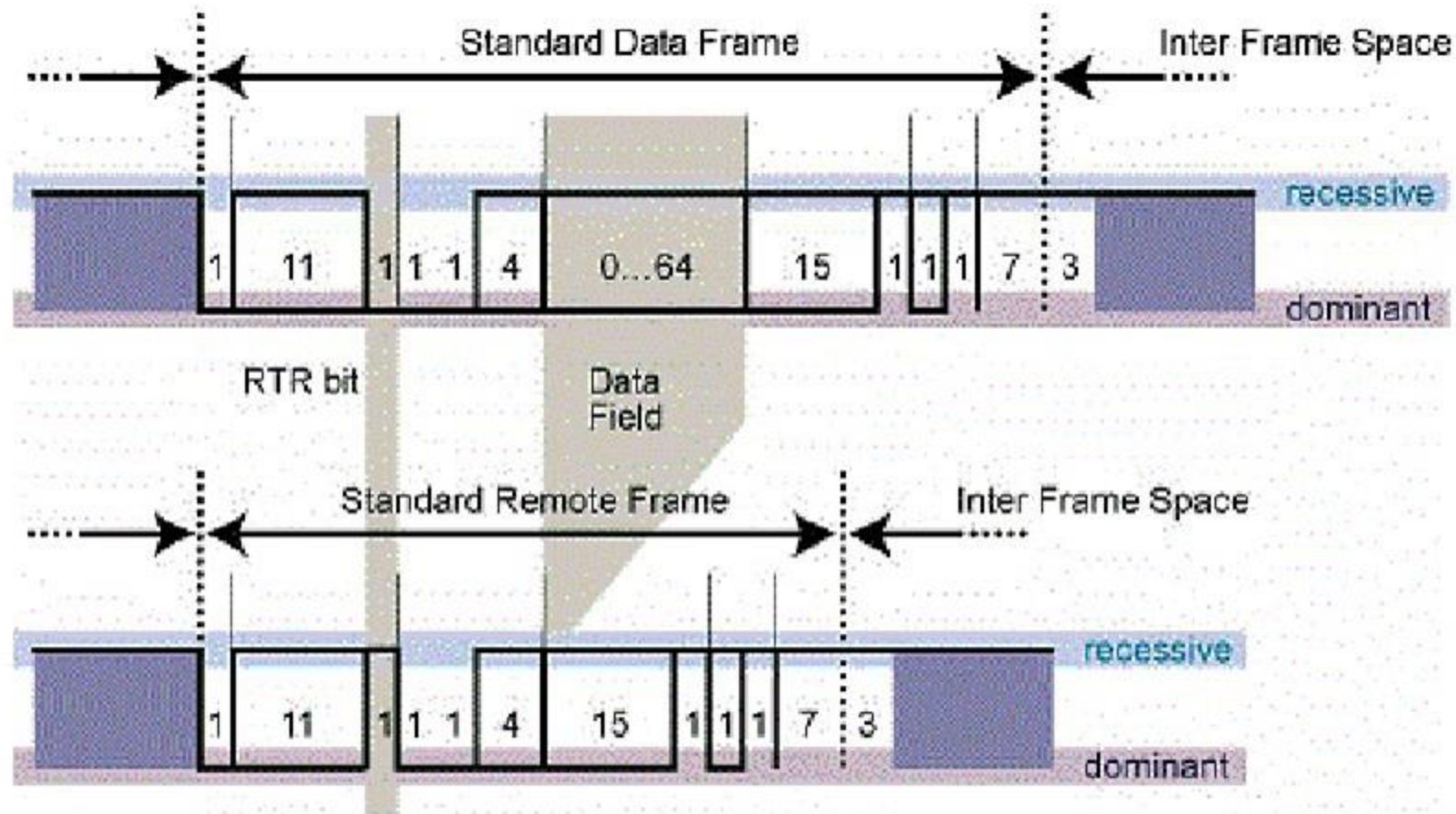
CRC polje bitova

acknowledge bit

end frame bit

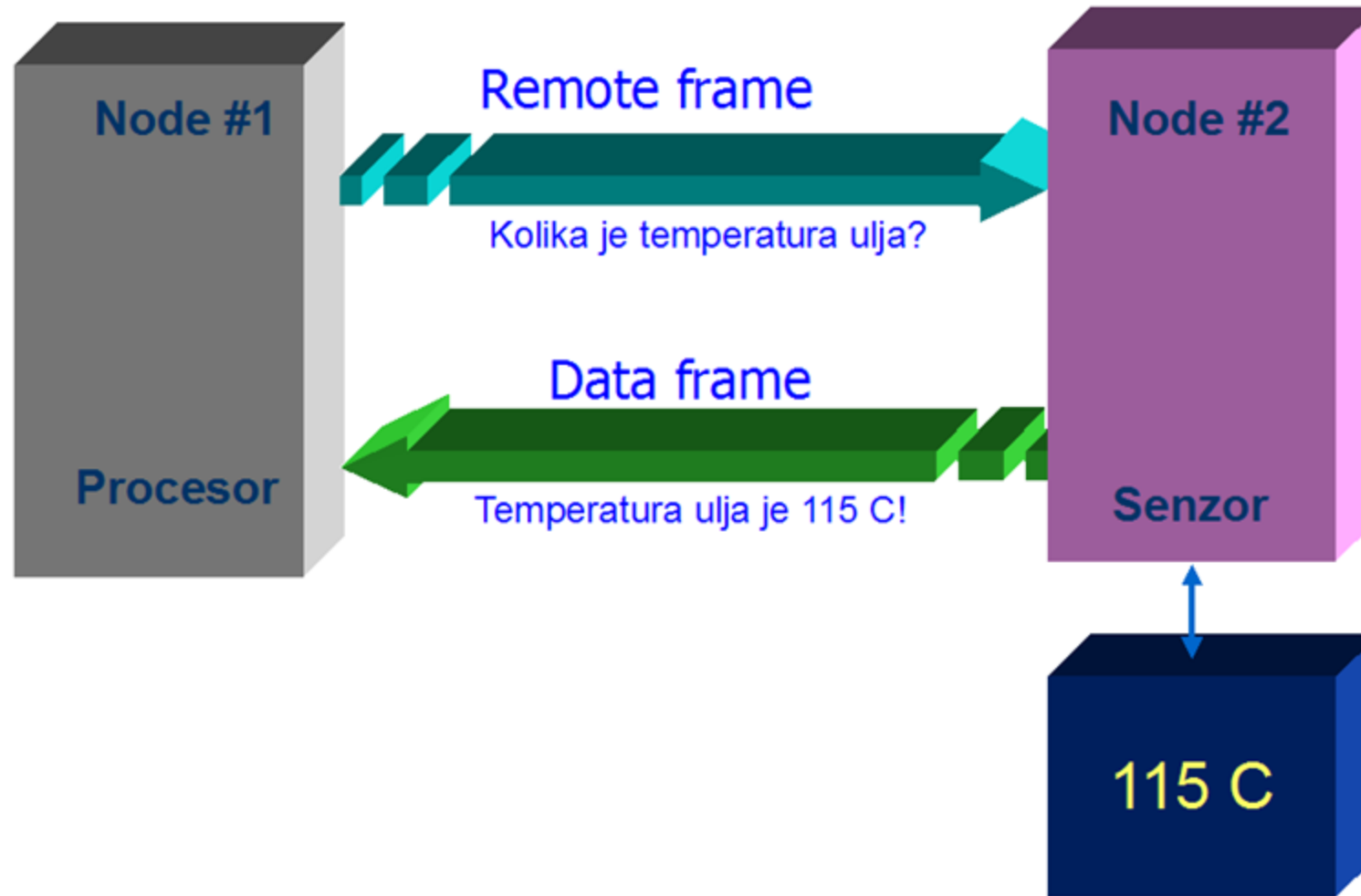


Formati CAN okvira podataka



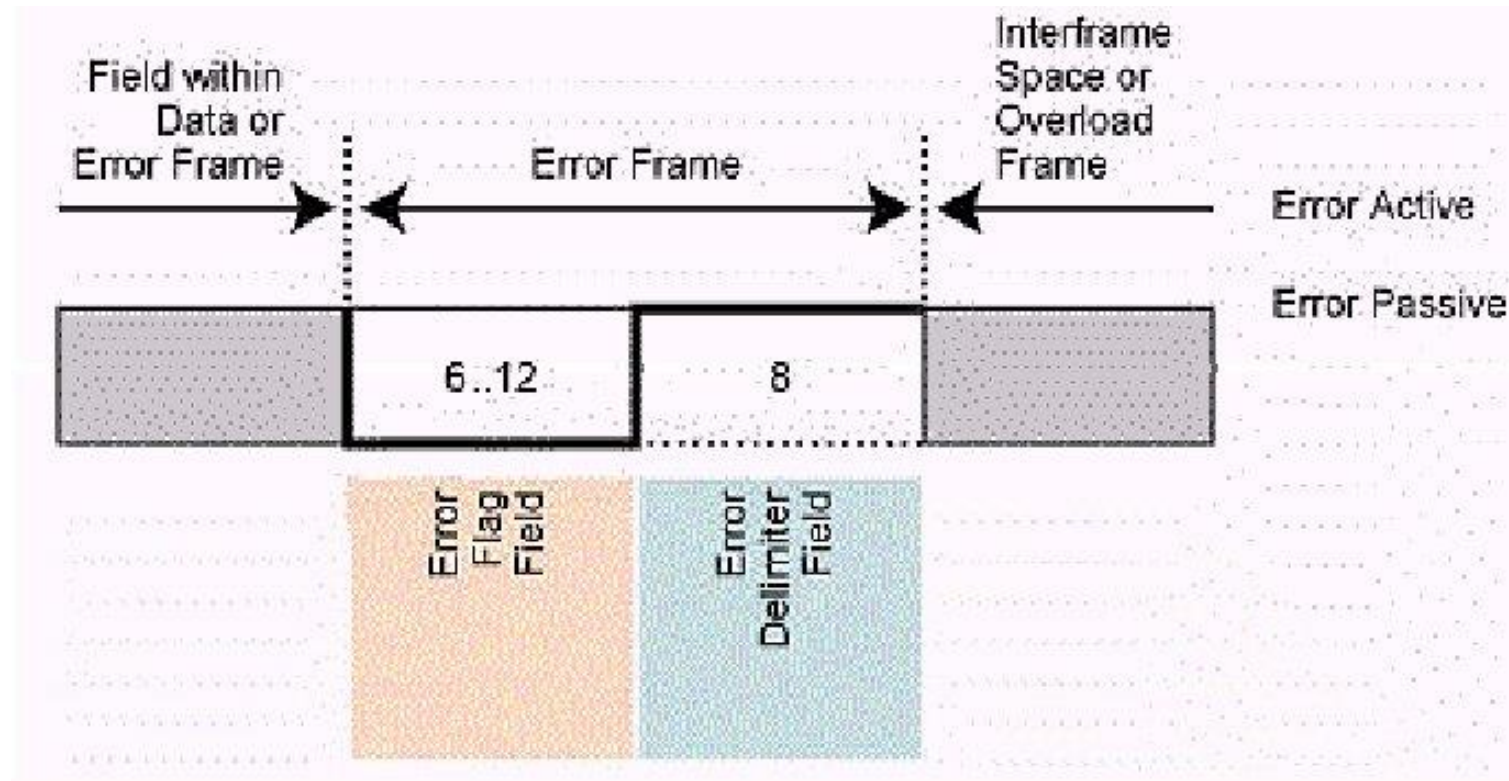
Formati CAN okvira podataka

- *Remote* okvir i *data* okvir (upit i odgovor):



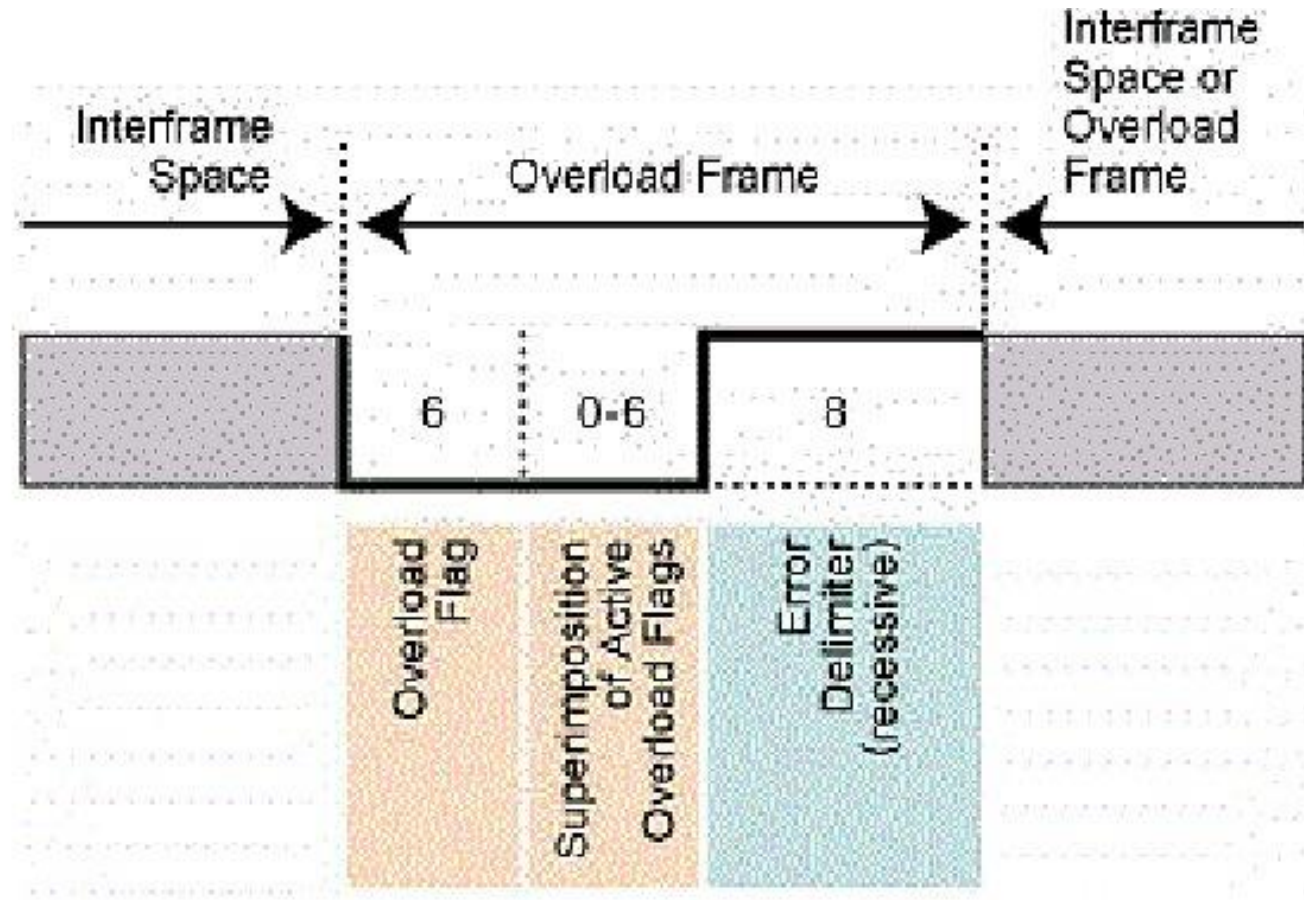
Formati CAN okvira podataka

- Okvir grješke:



Formati CAN okvira podataka

- *Overload* okvir:



Arbitriranje na mreži

- CSMA/CD+AMP metoda

- Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection with Non Destructive Arbitration
- velik broj uređaja spojen na istu sabirnicu (jedna linija);
- u određenom trenutku samo jedan može “govoriti”, a ostali slušaju
- arbitraža sabirnice:
 - s obzirom da su svi uređaji ravnopravni potreban je mehanizam koji će spriječiti da dva ili više uređaja počnu “govoriti” u isto vrijeme
 - za ovu namjenu se koriste arbitrirajući bitovi okvira podataka i “remote” okvira

Arbitriranje na mreži

- CSMA/CD+AMP metoda (2)
 - Uređaj može početi slati podatke kada je linija u stanju *idle*
 - *idle* (CAN) = recesivni bit prisutan na sabirnici više od 5 bitova
 - Kada šalje podatke, uređaj ih istovremeno prima radi:
 - postupka dogovaranja
 - provjere ispravnosti podataka
 - Ako poslani i primljeni arbitrirajući bitovi nisu jednaki:
 - neka točka višeg prioriteta je zauzela sabirnicu

Arbitriranje na mreži

- CSMA/CD+AMP metoda (3)

- Najviši prioritet ima CAN točka koja odašilje arbitrirajuće bitove najmanjeg sadržaja - svi bitovi dominantni (log. 0) - najviši prioritet
- uvjet za ovakvo svojstvo sabirnice:
 - svi uređaji spojeni na sabirnicu preko spojene I logike - logička nula je dominantno stanje takve strukture
- arbitriranje potrebno u slučaju kada više uređaja u isto vrijeme pronađe sabirnicu u stanju *idle* i počnu emitirati podatke
- uređaji šalju arbitrirajuće bitove i istovremeno prate stanje sabirnice

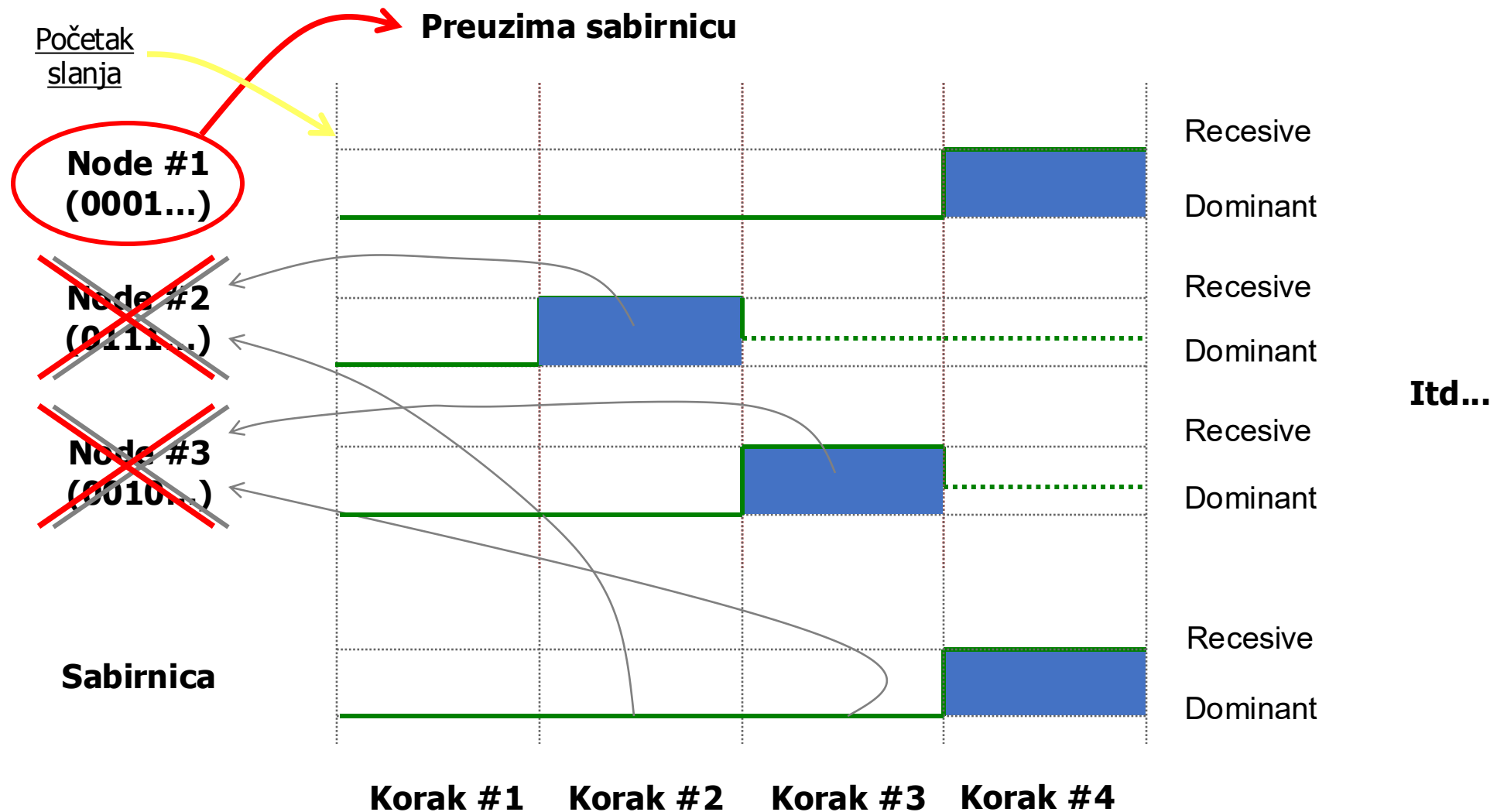
Arbitriranje na mreži

- CSMA/CD+AMP metoda (4)

- ukoliko “jači” uređaj traži sabirnicu, slabiji uređaji automatski prelaze u “slušatelje” te otkazuju svoje slanje za sljedeće stanje *idle* sabirnice
- čim se pojavi prvi neodgovarajući bit na sabirnici - uređaj odustaje bez daljnje provjere - sigurno neće dobiti sabirnicu
- **nedestruktivna metoda** - podaci od pošiljaoca koji preuzima sabirnicu nikada nisu uništeni
- **nema gubitka vremena zbog dogovaranja** - bitovi koji se tom prilikom koriste ionako su dijelovi paketa - oni su *ID* poruke

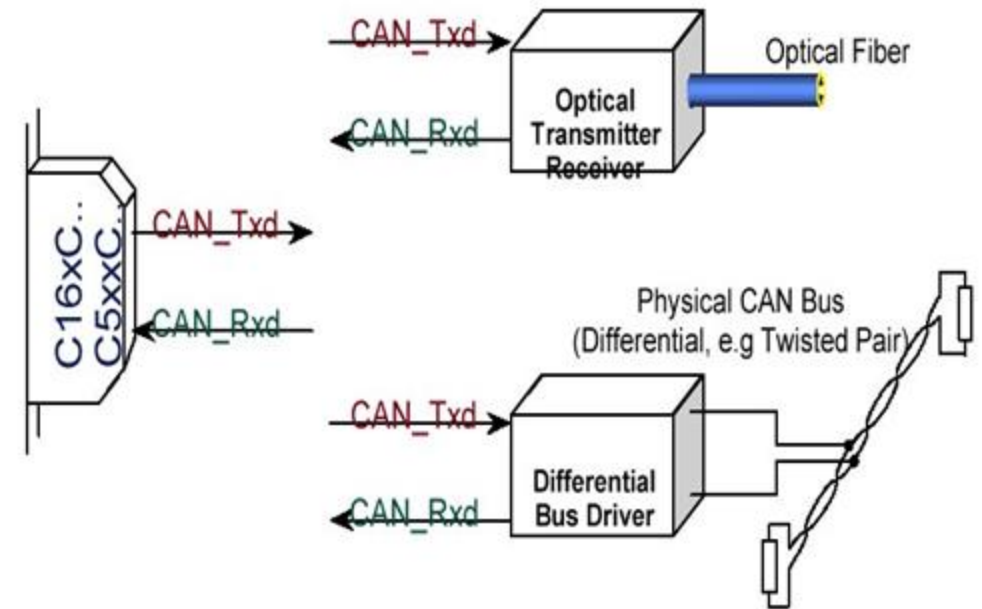
Arbitriranje na mreži

Postupak dogovaranja:



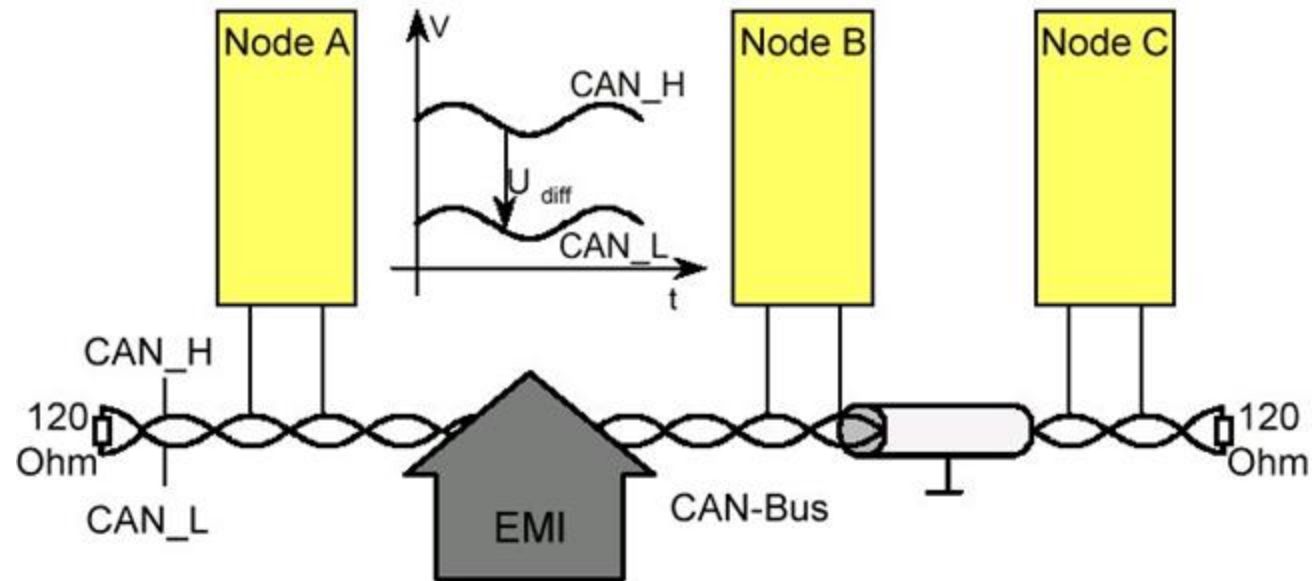
CAN fizička razina

- Osnovne vrste medija
 - žičana parica
 - svjetlovod
- ***CAN_Txd*** i ***CAN_Rxd*** su TTL signali iz CAN kontrolera;
- ***driver***: pretvara TTL signale u diferencijalni signal kakav se prenosi sabirnicom - kada se koristi parica, CAN driveri su slični RS485 driverima



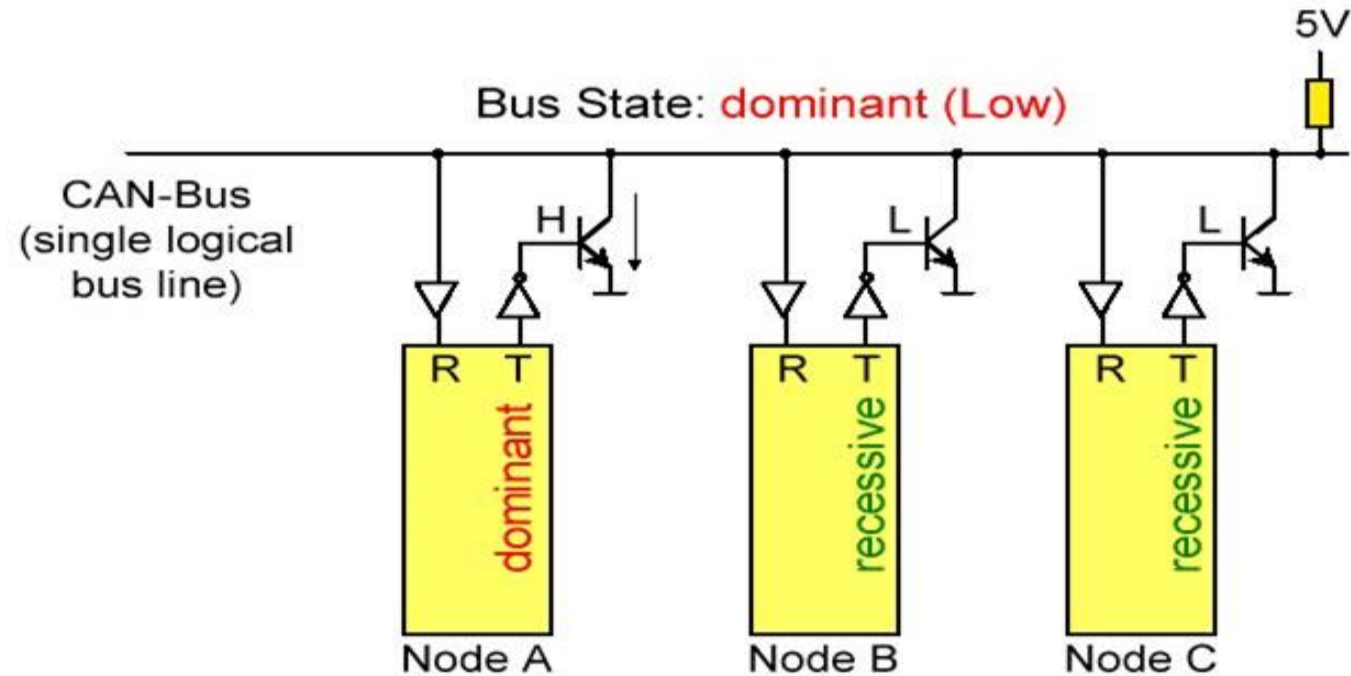
CAN fizička razina

- diferencijalna prijenosna linija - parica
 - otpornost na intenzivne vanjske EMS utjecaje, slično kao RS485



CAN fizička razina

- Spojeno-I svojstvo sabirnice = uvjet za izvedivost CSMA/CD+AMP arbitraže sabirnice:
 - upravljački programi moraju biti takvi da spajaju liniju *transmit* kontrolera na sabirnicu prema spojeno-I logici
 - razlika u odnosu na RS-485



CAN fizička razina

- Spojeno-I svojstvo sabirnice:

- logička nula je “dominantno” stanje sabirnice - kada barem jedna CAN točka postavi nulu - sabirnica ide u stanje nula bez obzira na ostale točke koje pokušavaju postaviti “recesivno” stanje sabirnice - logičku jedinicu

Two logic states
possible on the bus:
“1” = recessive
“0” = dominant



A	B	C	BUS
D	D	D	D
D	D	R	D
D	R	D	D
D	R	R	D
R	D	D	D
R	D	R	D
R	R	D	D
R	R	R	R

As soon as one node transmits
a dominant bit (zero).
Bus is in the dominant state.

Only if all nodes transmit
recessive bits (ones).
Bus is in the recessive state.

Usmjeravanje podataka na CAN-u

- Ne postoji adresiranje temeljeno na stalnim adresama pojedinih točaka
- Svaka CAN poruka (podatkovna ili zahtjev za podatkom) ima polje bitova za identifikaciju:
 - ti se bitovi ujedno koriste i za arbitražu - dogovaranje koja će točka preuzeti sabirnicu ovisi o važnosti poruke koju želi poslati - poruka razine 0 ima najveći prioritet
 - kod CAN2.0A identifikacijsko polje ima 11 bitova
 - kod CAN2.0B identifikacijsko polje ima 29 bitova - veći broj različitih poruka
- Svaka CAN točka odašilje poruke određenog tipa:
 - npr. senzor ulja šalje poruke tipa *OIL_PRESS*, senzor temperature vode poruke tipa *WATER_TEMP*
- Svaka CAN točka ima određen skup poruka koji može primiti:
 - npr. neka kontrolna točka može primiti sve poruke tipa *OIL_PRESS*, *WATER_TEMP* i sl.
- Više točaka koje imaju dozvolu za primanje poruka određenog tipa može istovremeno primiti poruku
 - nije izvedivo kod sabirnica gdje točke imaju fiksne adrese

Usmjeravanje podataka na CAN-u (2)

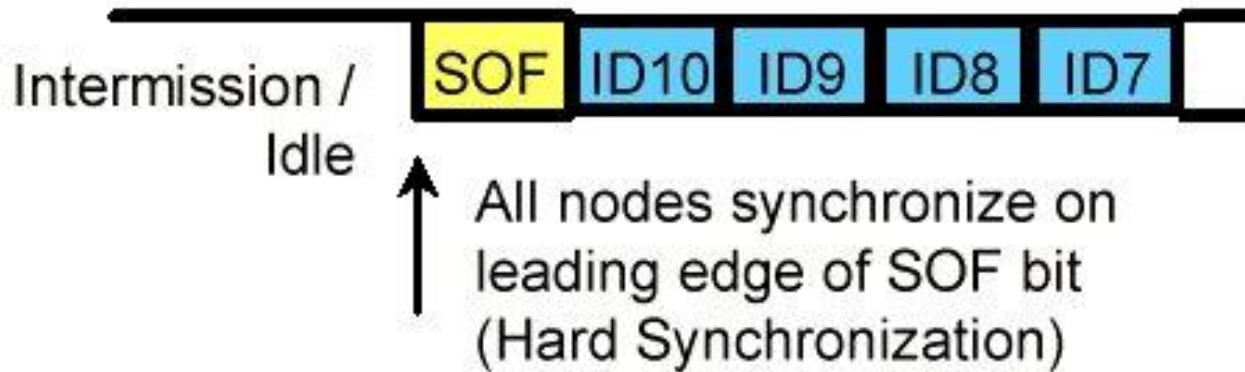
- Kada neka točka želi podatak od neke druge točke, šalje *remote frame* određenog tipa (npr. *OIL_PRESS*) te dobije natrag odgovor tj. *data frame* istog tipa;
- *Data frame* i *remote frame* razlikuju se po jednom bitu u arbitracijskom polju (12. ili 30. bit, ovisno o standardu)
 - kod *data frame*-a bit je u dominantnom stanju - ova vrsta okvira ima prednost

Uzorkovanje podataka

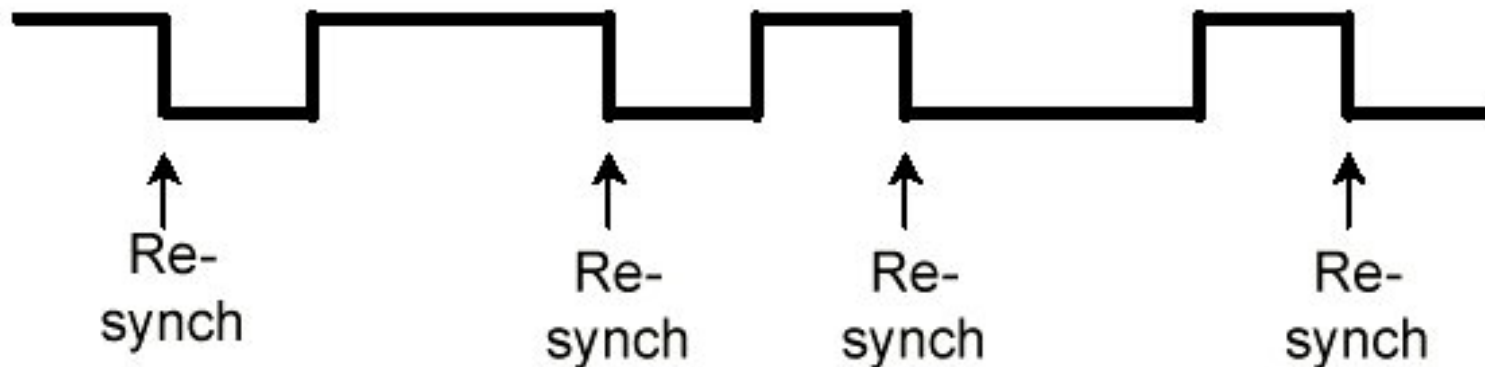
- Kontroler koji prima podatke sa serijske linije nema poseban takt za sinkronizaciju s predajnom stranom - CAN je asinkroni protokol
- Sličan problem kao kod RS-232 ili RS-485:
 - prijemnik se sinkronizira na start bit
 - uz poznatu brzinu prijenosa podataka, otipkavaju se ostali bitovi
 - dužina paketa dovoljno mala da nije potrebna ponovna sinkronizacija - grješka u sinkronizaciji nije ključna kada se otipkava 10-tak bitova
- U slučaju CAN-a paketi su znatno duži (100-njak bitova):
 - nije dovoljna sinkronizacija na početak okvira, jer se i mala grješka u sinkronizaciji sigurno osjeti nakon većeg broja bitova
 - osim sinkronizacije na početak okvira, CAN prijemnik se usklađuje na svaki padajući brid u nizu podataka, a postoji sigurno svakih pet bitova (***bit stuffing***)

Uzorkovanje podataka

Sinkronizacija na početak frame-a:

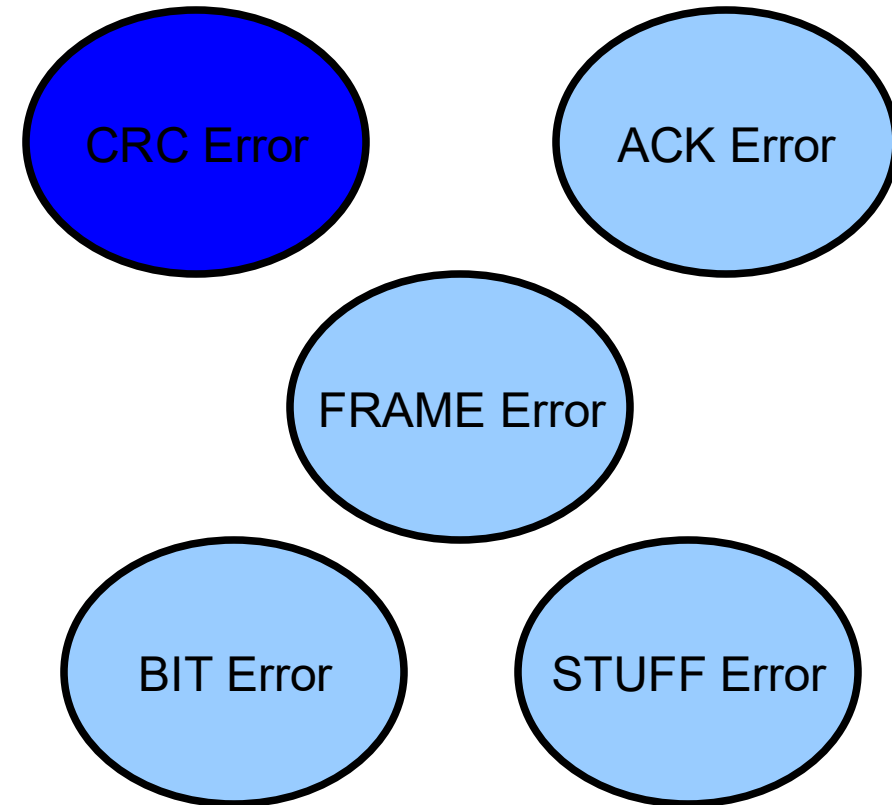


Resinkronizacija na svaki padajući brid:



Provjera ispravnosti paketa

- CAN norma propisuje pet metoda zaštite od pogrešaka:
 - CRC provjera paketa
 - *acknowledge* bit
 - *frame check* provjera
 - *bit monitoring* provjera
 - *bit stuffing* zaštita
- Garantira se jedan neotkriveni pogrešan paket pri 500kBit/s, 25% opterećenja, 2000 sati rada

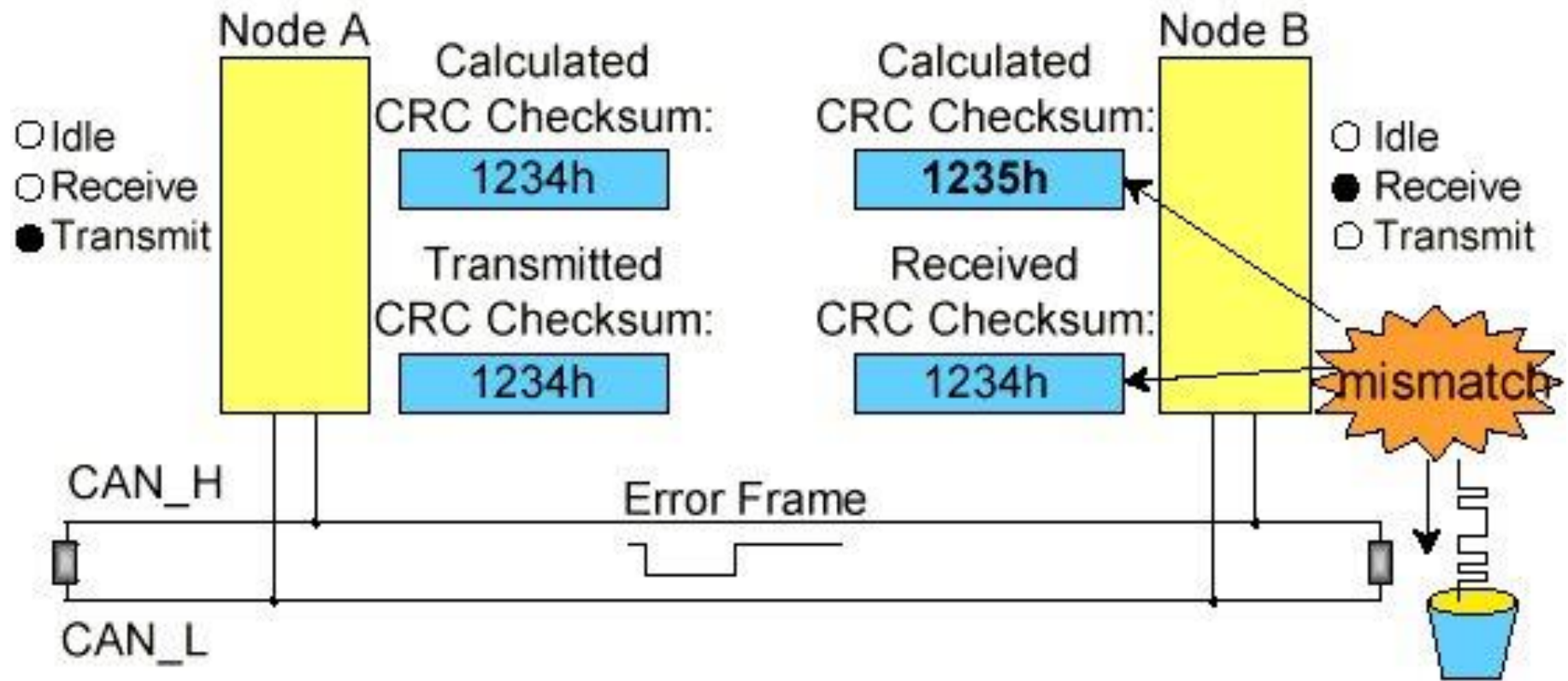


Provjera ispravnosti paketa

- CRC provjera:
 - Koristi se 15-bitni CRC kod
 - Računa se od bita koji označava početak okvira, sve do posljednjeg bita korisnih podataka
 - CRC kod izračunat na strani pošiljaoca ugrađuje se u okvir iza korisnih podataka
 - primatelj ponovo računa CRC, uspoređuje ga s onim zapisanim u okviru
 - ukoliko se ove dvije CRC vrijednosti razlikuju, primatelj odašilje izvještaj o grješki tj. zahtjev za ponavljanjem poruke - *ERROR FRAME*

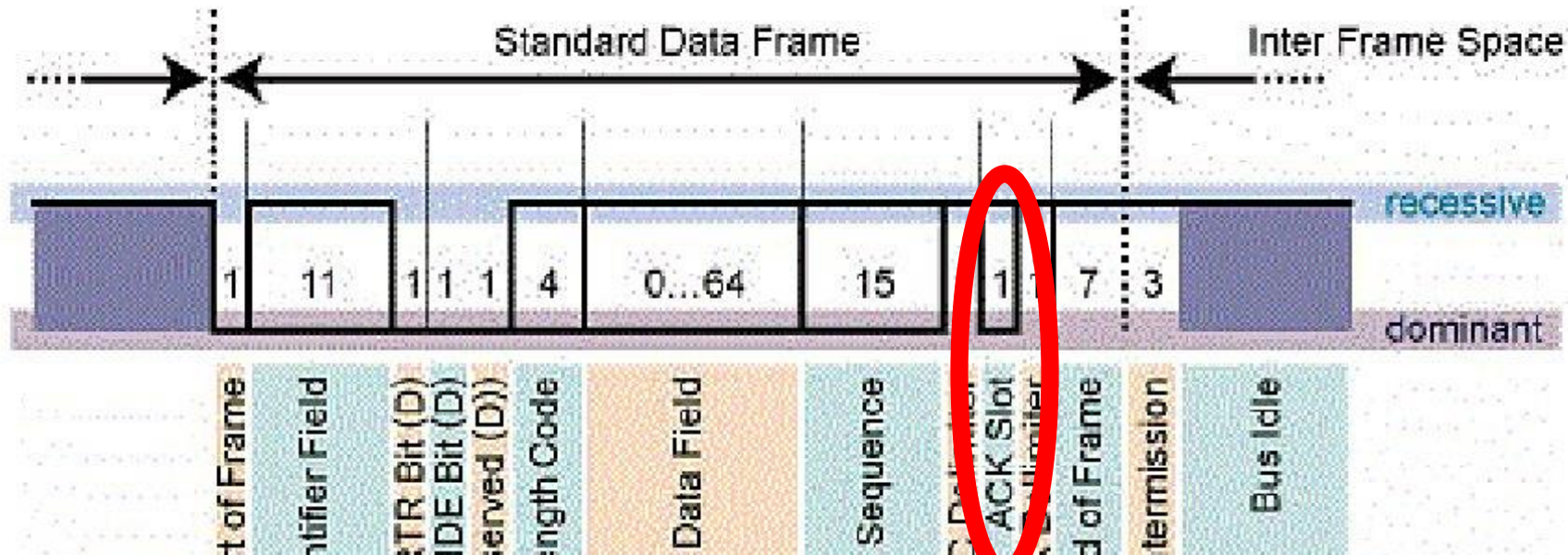
Provjera ispravnosti paketa

- CRC provjera:

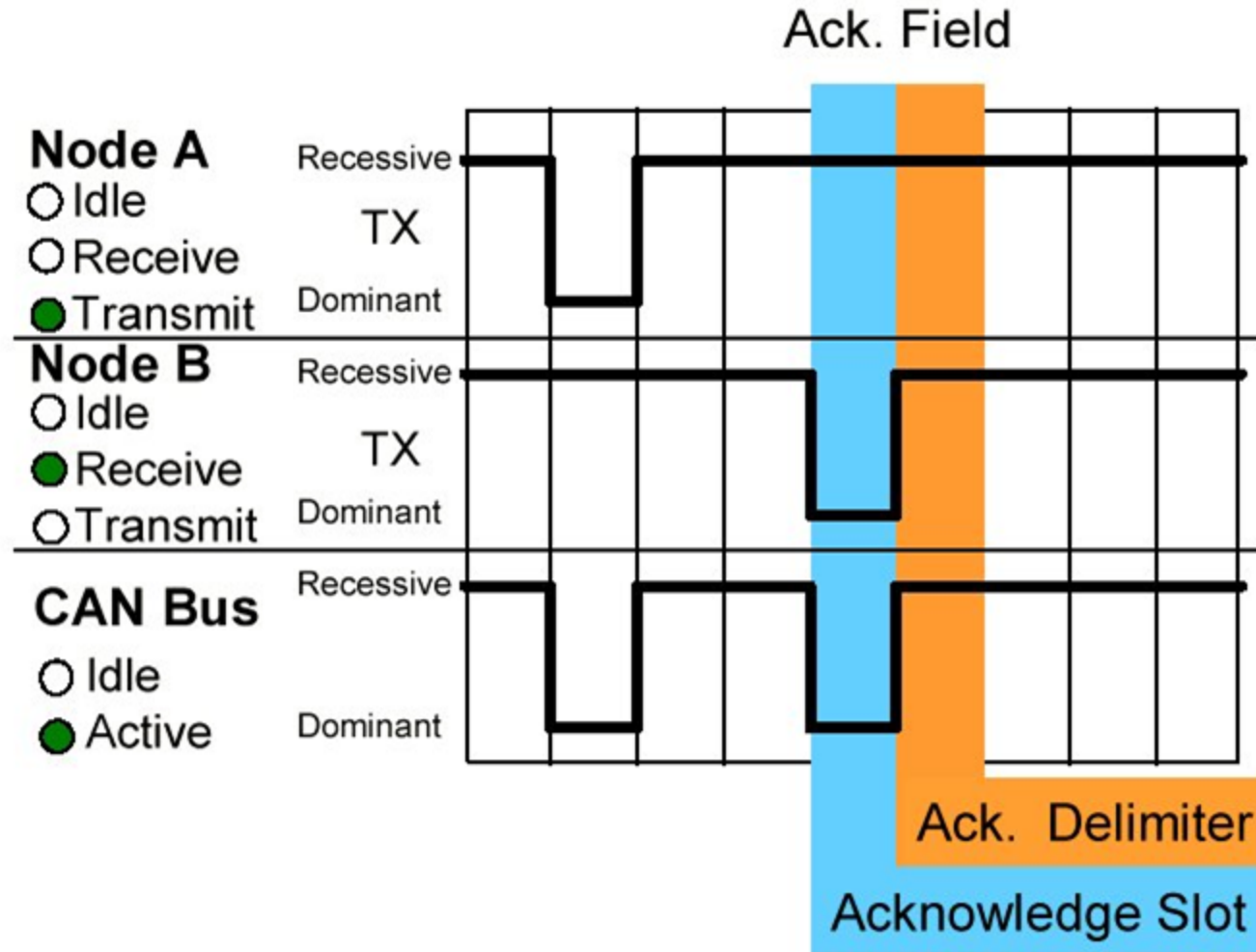


Provjera ispravnosti paketa

- *Acknowledge* bit se nalazi u okviru podataka iza CRC podatka
- Ovaj bit se uvijek šalje kao recesivni od strane predajnika
- Kada barem jedan uređaj primi poruku (prepozna ID poruke u smislu da ga ona zanima) istog časa ponovno šalje ovaj bit kao dominantni
- Ukoliko barem jedan uređaj primi poruku ovaj bit se nikada neće pojaviti na sabirnici kao recesivni, mada je poslan kao takav
- Predajnik paralelno sa slanjem provjerava i stanje sabirnice
- Uoči li da se *acknowledge* bit pojavio na sabirnici kao recesivni, kakvim ga je on postavio, **dogodila se neka grješka, jer niti jedan uređaj nije primio poruku!**



Provjera ispravnosti paketa



Provjera ispravnosti paketa

- **Frame check:**

- prijemnik provjerava stanja nekoliko bitova u okviru za koje pouzdano zna da moraju biti u određenom stanju - u suprotnom prijavljuje se grješka
- provjerava se stanje:
 - *CRC delimiter* bita
 - *Acknowledge delimiter* bita
 - *End of frame* ili *Interframe space* bita

- **Bit monitoring:**

- paralelno s predajom bitova, predajnik čita stanje sabirnice i uspoređuje pročitane podatke s onim što šalje
- ovi podaci moraju biti poputno jednaki, osim za vrijeme provjere *acknowledge* bita, koji mora biti uvijek suprotan
- nejednakost podataka i stanja sabirnice znak je problema pri slanju

Provjera ispravnosti paketa

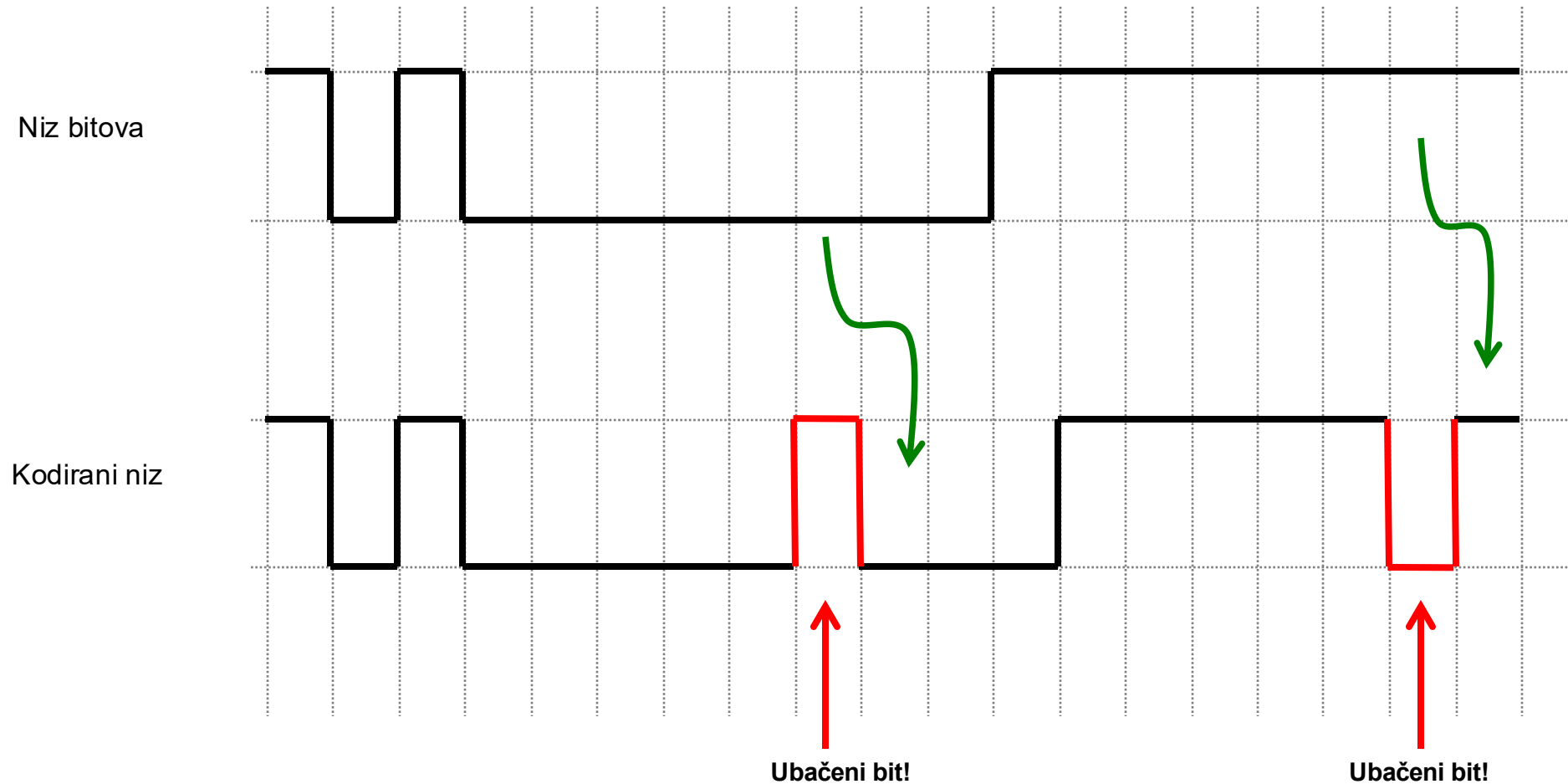
- **Bit stuffing** metoda provjere, kod CAN standarda, temelji se na činjenici da u nizu bitova ne smije postojati niz bitova istog polariteta dulji od 5 bitova - ne smije postojati slijed od više od 5 uzastopnih recesivnih ili 5 uzastopnih dominantnih bitova
- Predajna strana brine se o gornjem uvjetu
- Ukoliko prijemna strana pronade da je gornji uvjet u primljenom nizu prekršen primljeni paket smatra se pogrešnim

Provjera ispravnosti paketa

- U okviru postoje slobodni bitovi za korisne podatke:
 - može biti bilo kakav raspored bitova unutra
 - umjetno se ubacuje jedan bit suprotnog polariteta, ukoliko se naiđe na šest ili više uzastopnih jednakih
- Na prijemnoj strani se ovi bitovi uvijek izbacuju da se vrati originalni signal

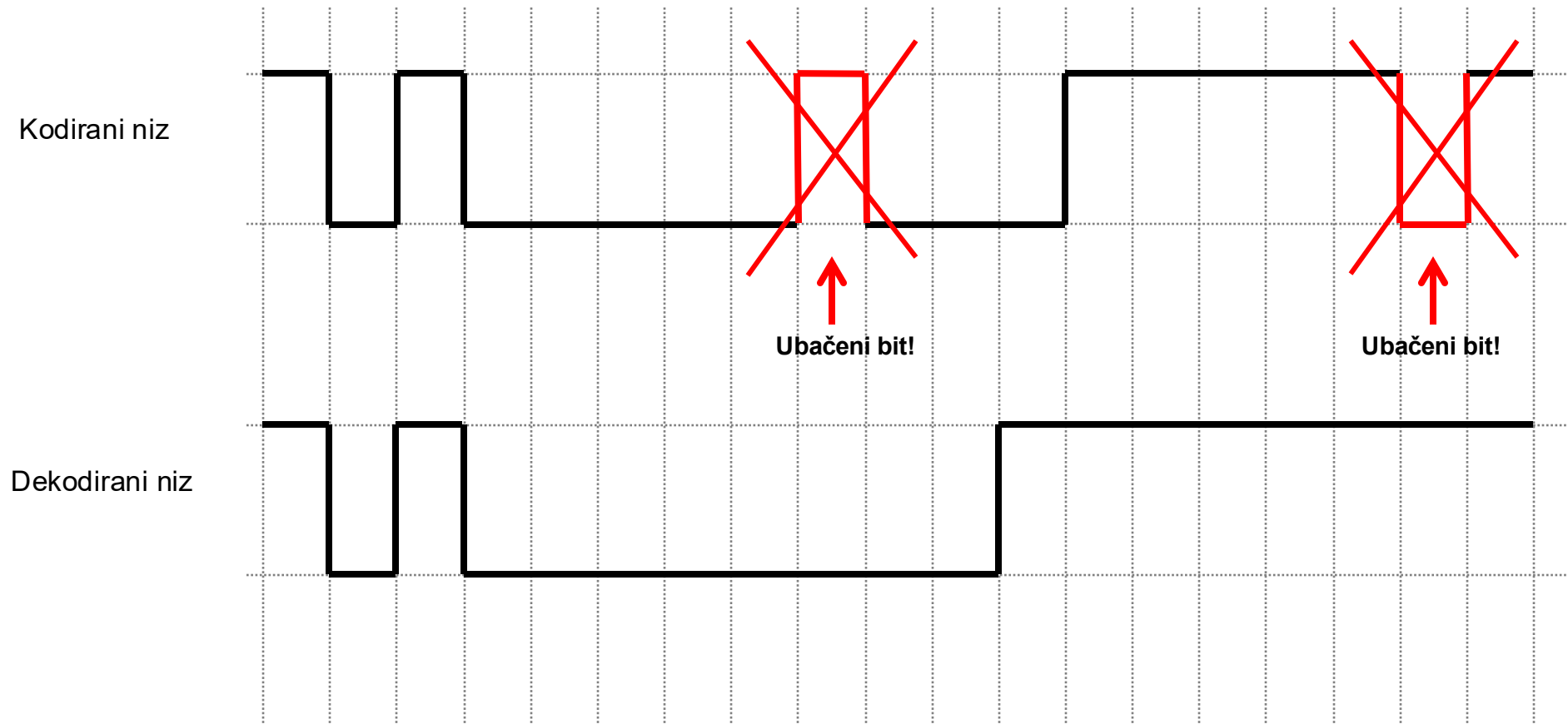
Provjera ispravnosti paketa

kodiranje - *bit stuffing*:



Provjera ispravnosti paketa

- dekodiranje



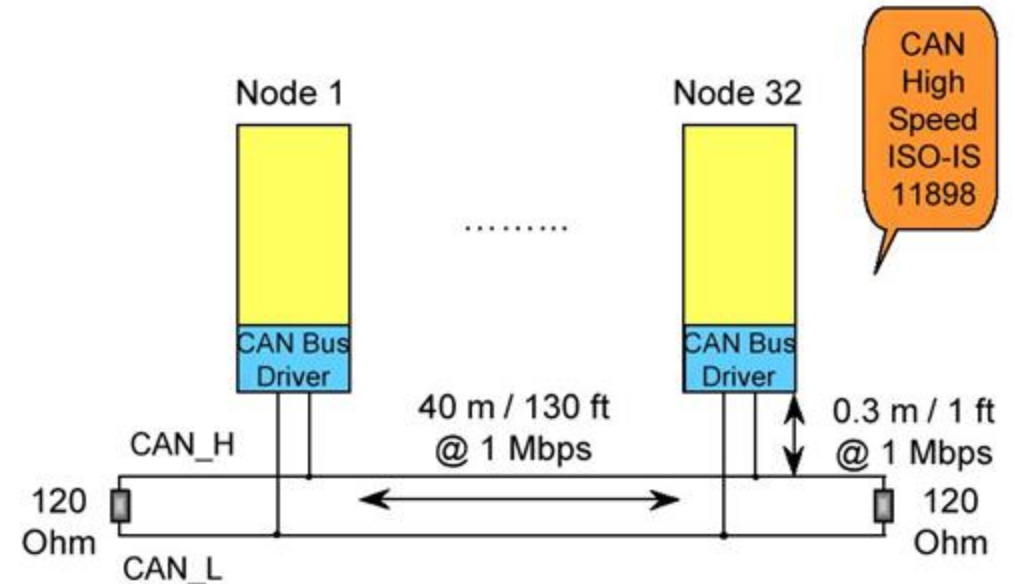
CAN Standardi

- Definirana dva standarda za CAN sabirnice:
- ISO 11519-2, za gradnju sporijih CAN sabirnica
 - brzine prijenosa podataka do 125 kBit/s
 - uporaba u upravljačkim pločama automobila, sustavu grijanja, zaključavanja, dijagnostike i drugim manje zahtjevnim aplikacijama
- ISO 11898, za brze CAN sabirnice
 - brzine prijenosa 125 kBit/s do 1 Mbit/s
 - uporaba u visokozahtjevnim dijelovima sustava, kao što je upravljanje radom motora, ABS, aktivni ovjesi i sl.

ISO 11898 CAN Standard

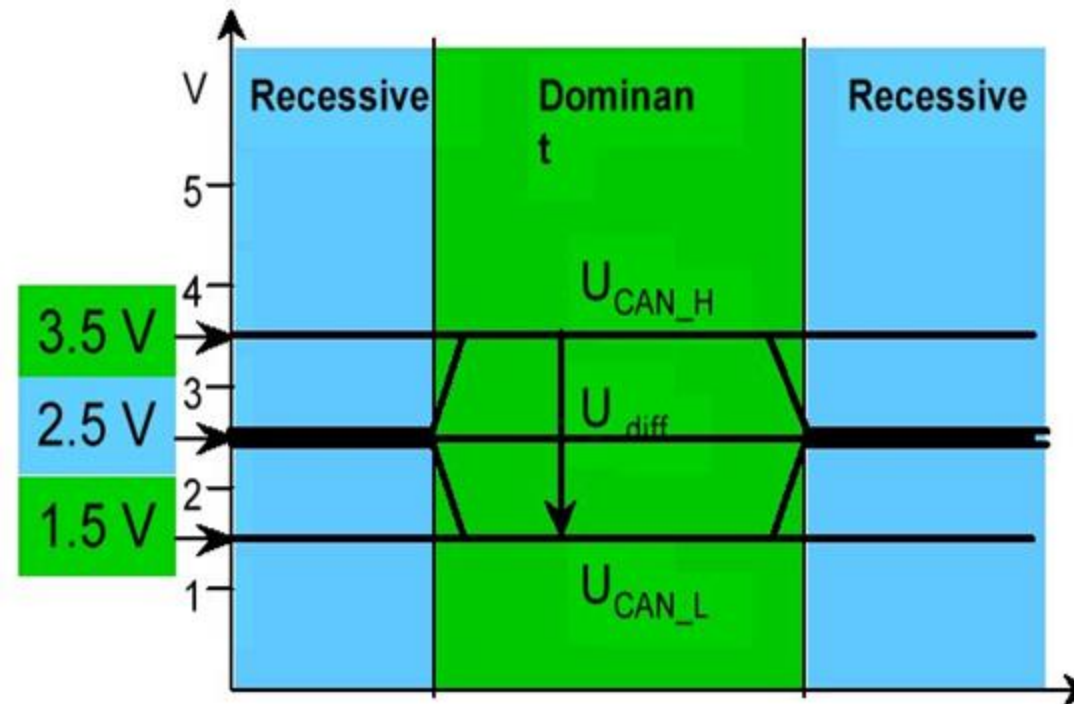
▪ Fizička razina

- dužina sabirnice do 40m
- brzine do 1 Mbit/s, značajno pada povećanjem duljine sabirnice
- svi uređaji direktno priključeni na sabirnicu
- najveća duljina segmenta od uređaja do sabirnice, je 0.3m @ 1 Mbit/s
- najveći broj uređaja na sabirnici je 32:
 - broj uređaja nije ograničen logički protokolom
 - ograničenje predstavljanju električne karakteristike pogonskih stupnjeva (*driver*) - ograničenje u fizičkoj razini
 - povećanje broja dozvoljenih uređaja moguće uporabom jačih pogonskih stupnjeva
- prijenosna linija mora biti terminirana otporima od 120 Ohma, s obje strane



ISO 11898 CAN Standard - naponi

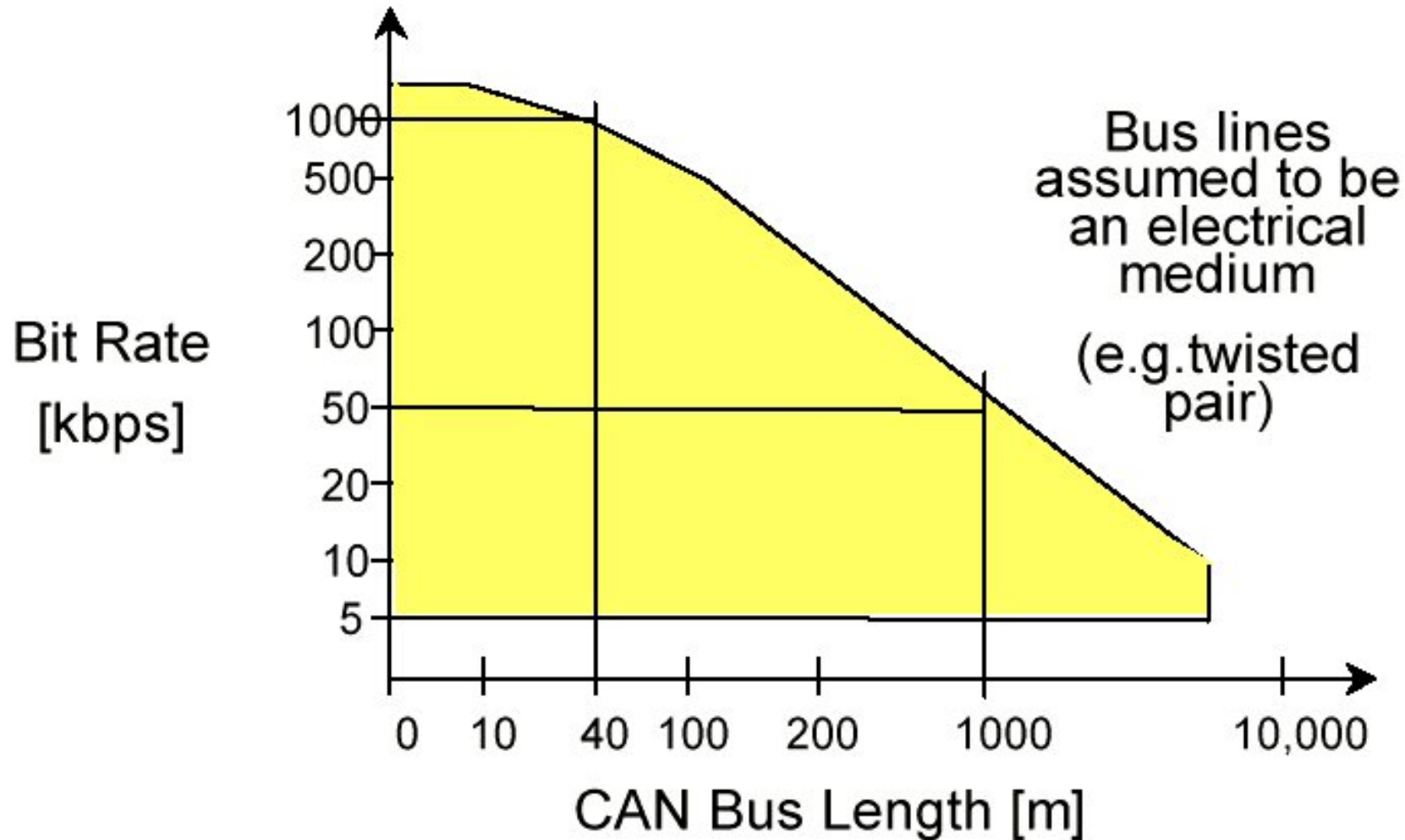
- Dvije linije označene s CAN_H i CAN_L
- recesivno stanje CAN_H i CAN_L je 2.5V
- dominantno stanje CAN_H je 3.5V, a za CAN_L 1.5V
- naponske razlike:
 - 0V recesivna
 - 2V dominantna



CAN
High
Speed
ISO-IS
11898

Brzina prijenosa vs. dužine sabirnice

- do 1MBit/s uz dužinu sabirnice od 40 m

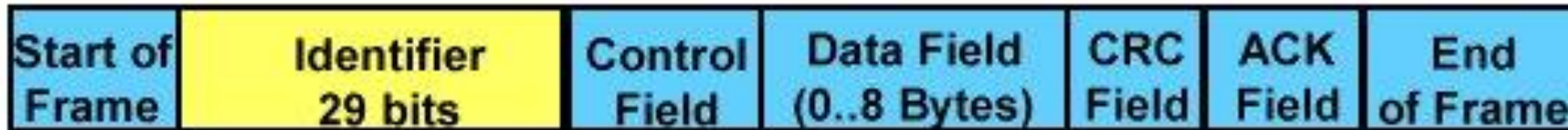


Verzije CAN protokola

- Dvije osnovne verzije protokola:
 - 2.0A... ima 11-bitno ID polje - 2048 tipova poruka



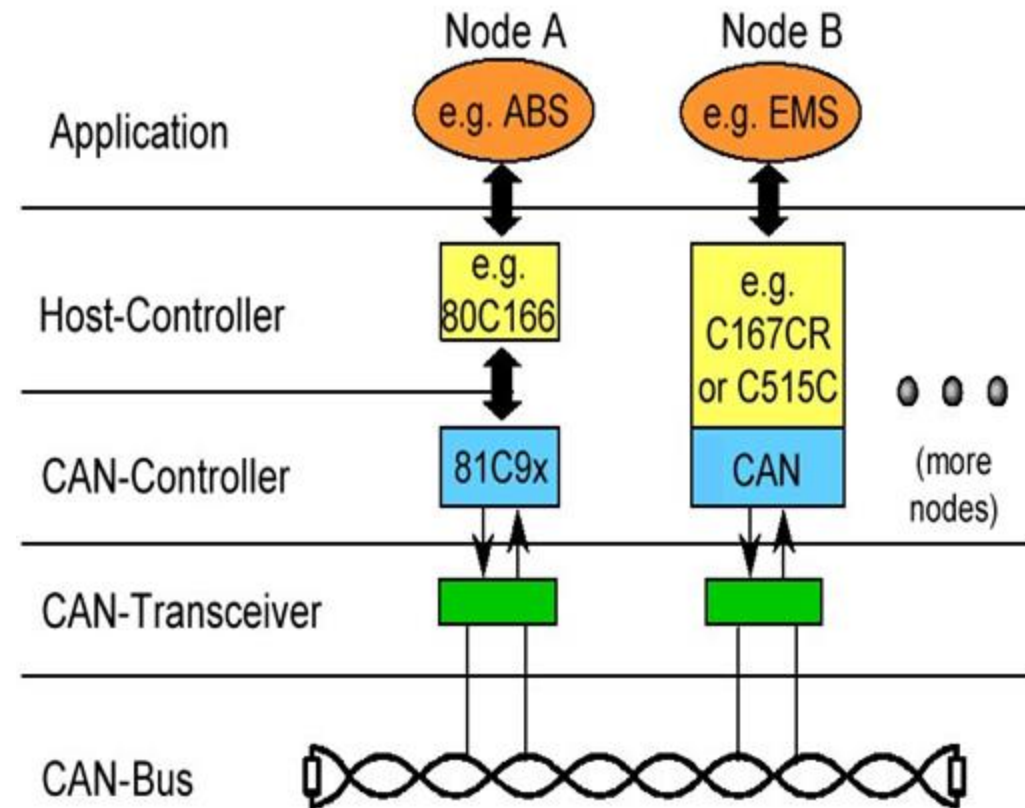
- 2.0B... ima 29-bitno ID polje - 536 milijuna tipova poruka



- Tri podvrste CAN protokola:
 - 2.0A - pojava 29 bitnog ID-a izaziva grješku
 - 2.0B Passive - podnosi pojavu 29 bitnog ID-a (ne koristi ga ali ga zna ignorirati)
 - 2.0B Active - aktivno koristi 29 bitni ID

CAN implementacije

- Elementi CAN implementacije:
 - medij za prijenos podataka, CAN sabirnica
 - CAN pogonski sklop (driver)
 - CAN kontroler
 - matični kontroler, mikroračunalo
 - aplikacija



CAN implementacije (2)

- **CAN sabirnica:**

- medij zahtjevnih svojstava za prijenos CAN paketa podataka;
- svi CAN kontroleri komuniciraju preko iste linije;

- **CAN pogonski stupanj:**

- pretvara CAN pakete predstavljene TTL udružljivim signalom u električne signale koji se prenose medijem - pogonski stupnjevi rade pretvorbu u oba smjera
- maksimalni broj pogonskih stupnjeva na mreži ovisi o njihovim strujnim karakteristikama
 - najslabiji pogonski stupanj u sustavu mora biti takav da može emitirati podatke i u najlošijem slučaju po pitanju opterećenja - kada svi ostali “slušaju”

CAN implementacije (3)

- CAN kontroler:

- integrirani sklop koji implementira CAN protokol
- s jedne strane prima (šalje) čiste digitalne podatke
- s druge strane šalje (prima) podatke kodirane u CAN pakete te sudjeluje u svim potrebnim aktivnostima na CAN sabirnici

- dvije osnovne skupine komercijalnih kontrolera:

- **BASIC CAN** - obavlja samo elementarne poslove na CAN sabirnici - većina složenijih poslova se prebacuje na matični procesor - **veliko opterećenje procesora**
- **FULL CAN** - potputno implementira sve potrebe komunikacije na CAN sabirnici (automatizirano odgovaranje na različite zahtjeve, obrada grješaka i sl.) uz minimalni angažman matičnog procesora koji ga koristi - **minimalno opterećenje procesora**