

OPASKA!

- Ovi materijali namijenjeni su isključivo studenticama/studentima koji su upisali predmet “Računala i procesi” na FER-u u šk. g. 2002/2003.
- Za svako drugo korištenje potrebna je pismena suglasnost autora!
- Materijali služe kao pomoć u praćenju predavanja, a ne kao njihova zamjena te se ne mogu tumačiti izvan konteksta predavanja!

M. Žagar, 2002-10-01



ጠቅናዎ ማሳደግ



የጠቅናዎ ማሳደግ ወይንም ማሳደግ
የጠቅናዎ ማሳደግ ወይንም ማሳደግ
የጠቅናዎ ማሳደግ ወይንም ማሳደግ
(ጠቅና)

የጠቅናዎ ማሳደግ
ወይንም ማሳደግ
የጠቅናዎ ማሳደግ

Mario Žagar



Sveučilište u Zagrebu

**Fakultet elektrotehnike i računarstva
(FER)**

RAČUNALA I PROCESI

10. CAN - Controller Area Network



Sadržaj

- Što je CAN;
- Osnovna svojstva CAN sabirnice;
- Formati CAN okvira;
- Arbitriranje mreže;
- Otkrivanje grješaka u prijenosu;
- CAN standardi;
- CAN implementacije;



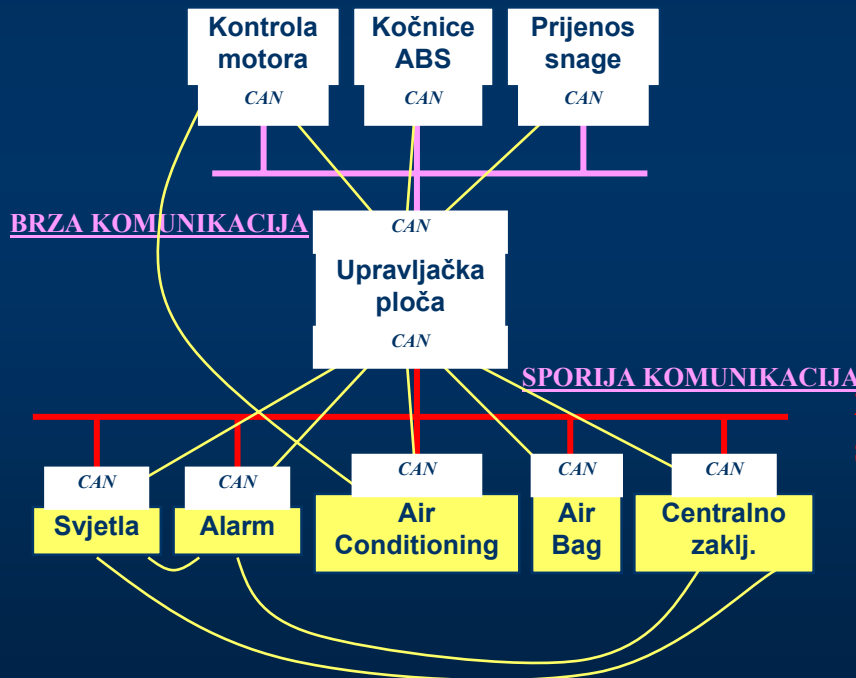
Što je što...

- ☞ **CAN** - **C**ontroller **A**rea **N**etwork;
- ☞ **Recesivni bit** - logička jedinica na CAN sabirnici - objašnjenje u nastavku uz opis svojstava CAN sabirnice;
- ☞ **Dominantni bit** - logička nula na CAN sabirnici;
- ☞ **CRC** - **C**yclic **R**edundancy **C**hecking;
- ☞ **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 bitova za siguran prijenos podataka i sinkronizaciju;

Što je CAN?

- CAN = Controller Area Network
- brza serijska sabirnica razvijena kasnih 80-tih godina za potrebe auto-industrije - **Robert Bosch GmbH**
- za brzine prijenosa od 1Mbit/s @ 40 m duljine sabirnice
- otvorena, linearna, multi-point arhitektura sabirnice
- robusnost:
 - diferencijalni vodovi - otpornost na vanjske EMS smetnje
 - efikasne metode otkrivanja i popravljivanja grješaka u prijenosu
- visok stupanj standardizacije (ISO11898 i ISO11519-2)

Kako je počelo...



Veliki broj električnih i elektroničkih uređaja u vozilu;

Potreba za njihovim povezivanjem i međusobnom komunikacijom;

1. mogućnost - Diskretno direktno ožičenje svih potrebnih veza
2. mogućnost - 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;
- tipična cijena kontrolera cca. 5\$ + vrlo jeftini fizički medij;

Osnovna svojstva CAN-a (2)

☞ **rad u stvarnom vremenu**

- podaci se prenose u kratkim porukama, do 8 bajtova;
- 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)

☞ **Velika brzina prijenosa**

- 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

(Open Systems Interconnection)



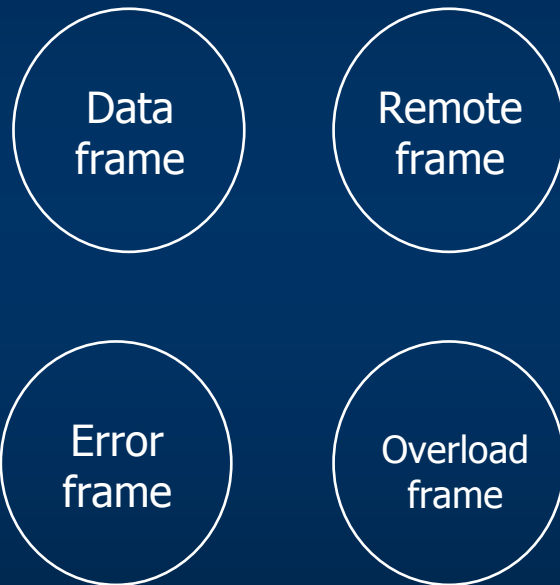
☞ CAN standardi definiraju dvije najniže razine:

- data link razinu
- fizičku razinu

☞ **“data link”** razina definira način pretvorbe digitalnih podataka u slijed bitova prema zadanim formatima frame-a

☞ **fizička razina** definira potrebna svojstva medija za prijenos signala, bez obzira na vrstu medija (parica ili **CAN** svjetlovod)

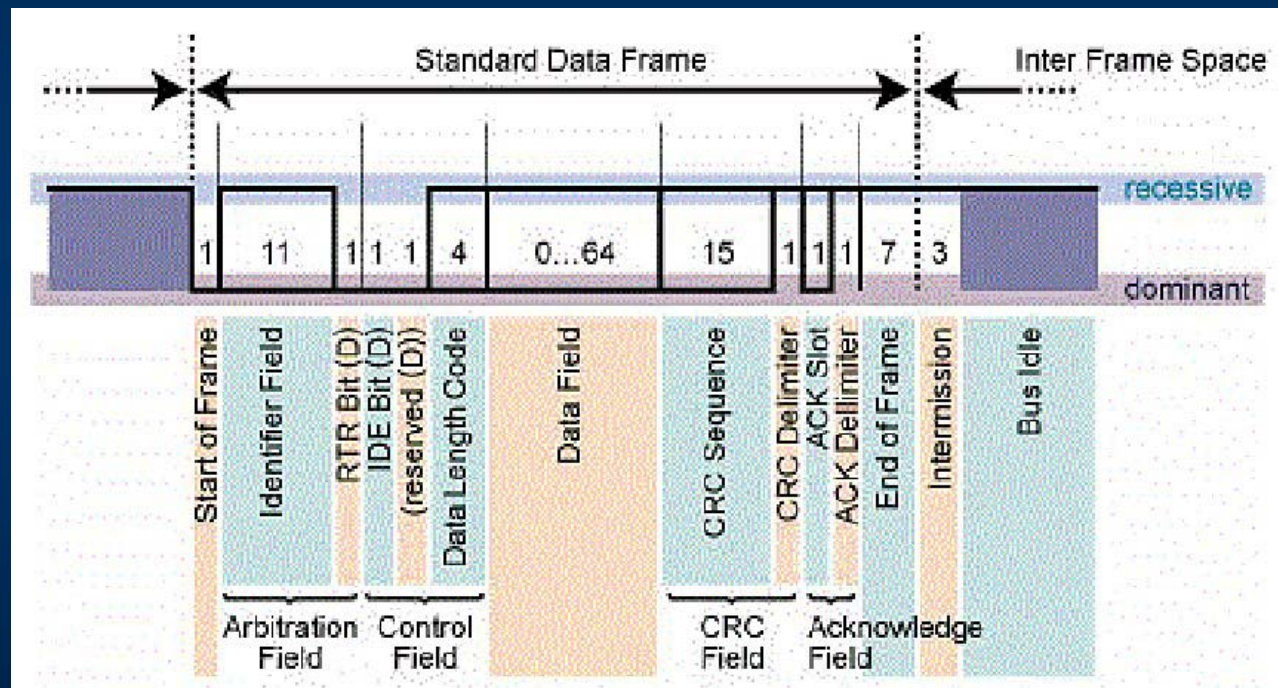
Formati CAN okvira podataka



- ☞ **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 podataka

Okvir podataka



Formati CAN okvira podataka

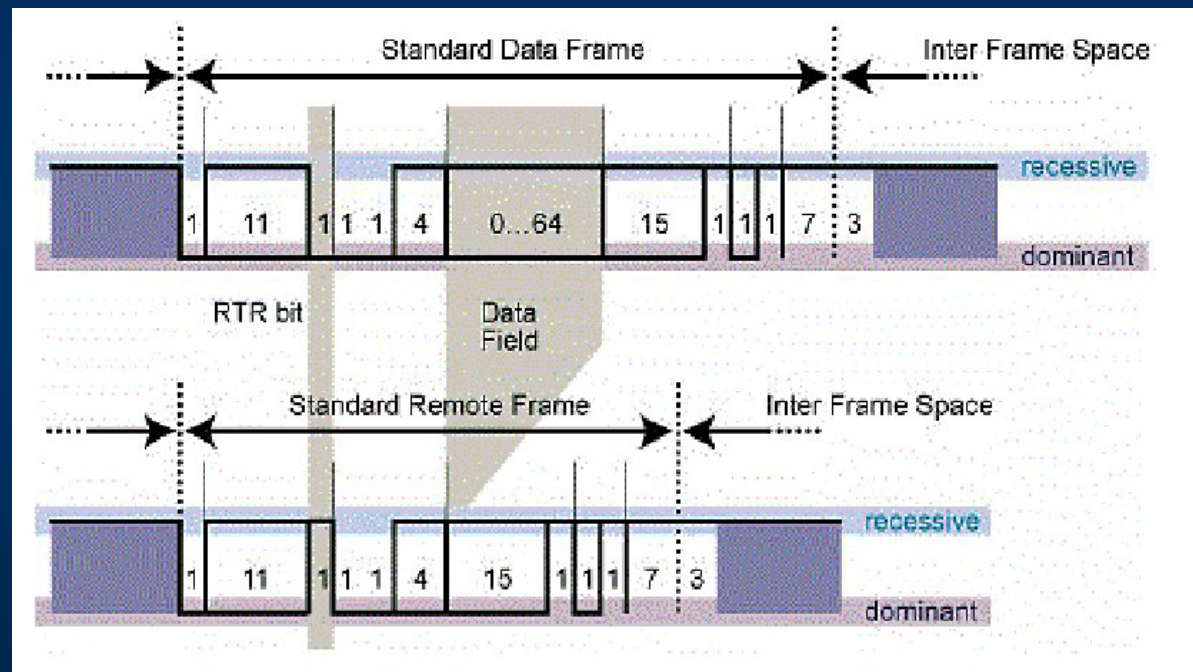
Okvir podataka (2)

Elementi okvira podataka 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;

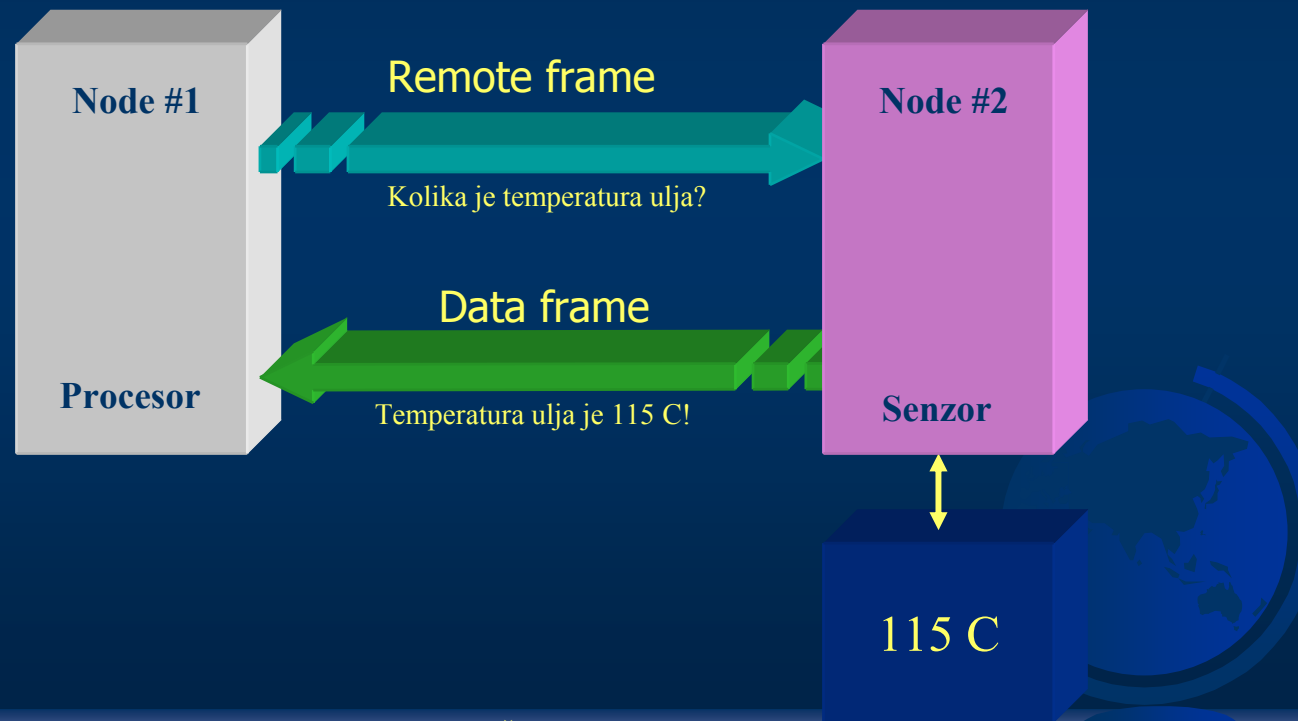


Formati CAN okvira podataka “Remote” okvir



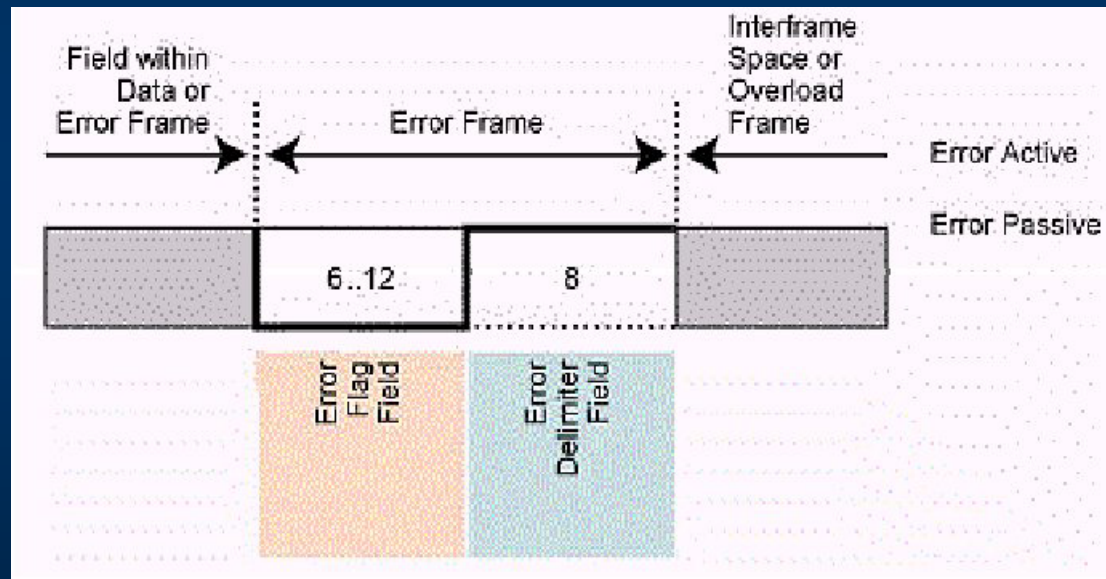
CAN Frames

Remote Frame

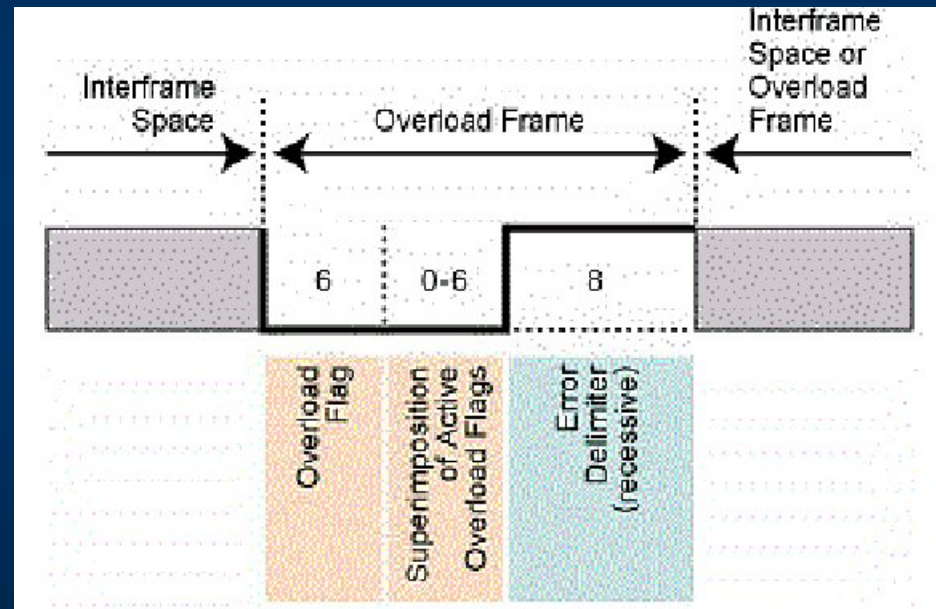


Formati CAN okvira podataka

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 “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.
- ☞ Najviši prioritet ima CAN točka koja odašilje arbitrirajuće bitove najmanjeg sadržaja - svi bitovi dominantni (log. 0) - najviši prioritet;
- ☞ uvijek za ovakvo svojstvo sabirnice:
 - svi uređaji spojeni na sabirnicu preko spojene I logike - logička nula je dominantno stanje takve strukture

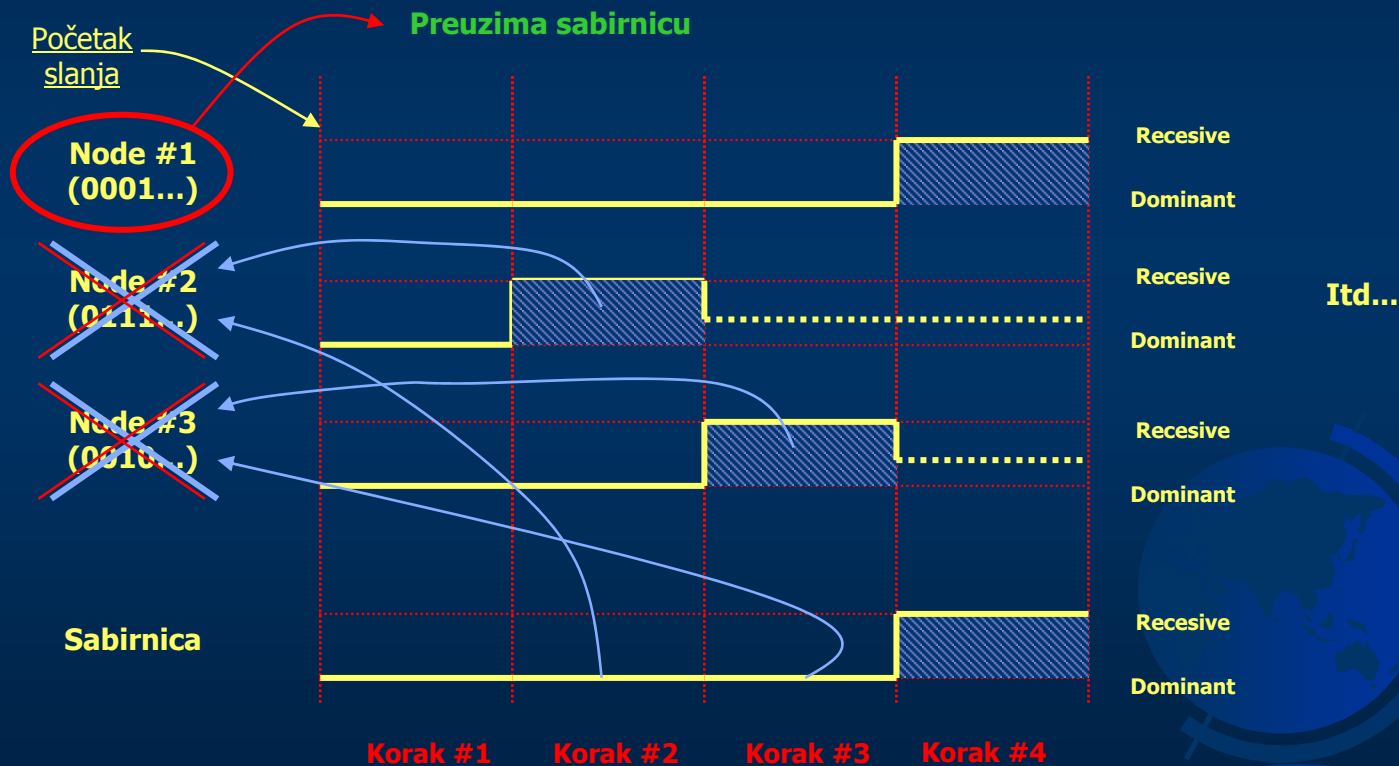
Arbitriranje na mreži

CSMA/CD+AMP metoda (3)

- arbitriranje potrebno u slučaju kada više uređaja u isto vrijeme pronađe “idle” sabirnicu i počnu emitirati podatke;
- uređaji šalju arbitrirajuće bitove i istovremeno prate stanje sabirnice;
- ukoliko “jači” uređaj traži sabirnicu, slabiji uređaji automatski prelaze u “slušatelje” te otkazuju svoje slanje za sljedeće “idle” stanje 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;
- **name gubitka vremena zbog dogovaranja** - bitovi koji se tom prilikom koriste ionako su dijelovi paketa - oni su ID poruke;

Arbitriranje na mreži

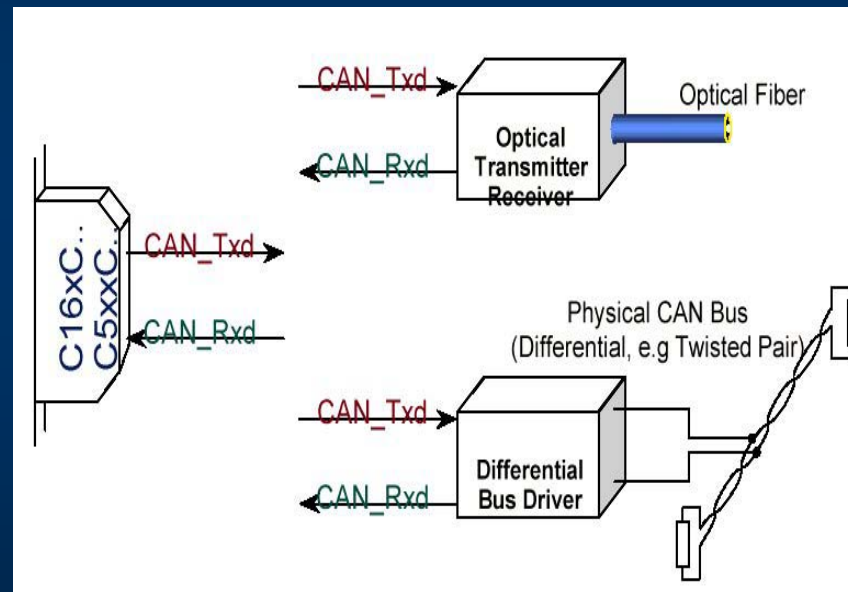
Postupak dogovaranja...



CAN Fizička Razina

Osnovne vrste medija

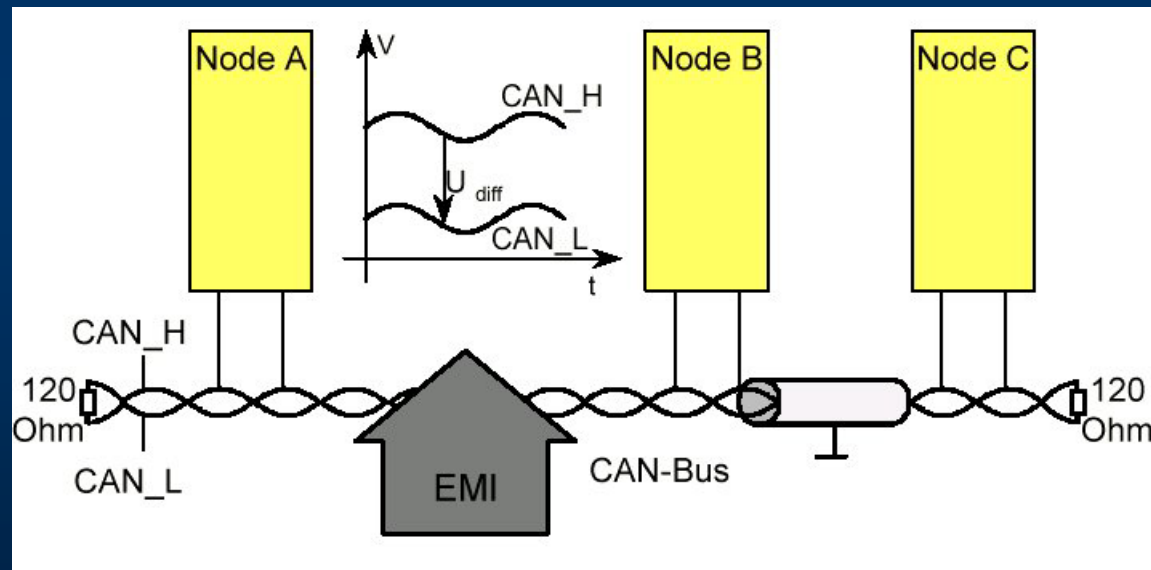
- ☞ žičana parica
- ☞ svjetlovod
- ☞ **CAN_Txd** i **Rxd** su TTL signali iz CAN kontrolera;
- ☞ **driver**: pretvara TTL signale u diferencijalni signal kakav se prenosi sabirnicom - kada se koristi parica, CAN driveri su slični RS485 driverima



CAN Fizička Razina

Osnovne vrste medija (2)

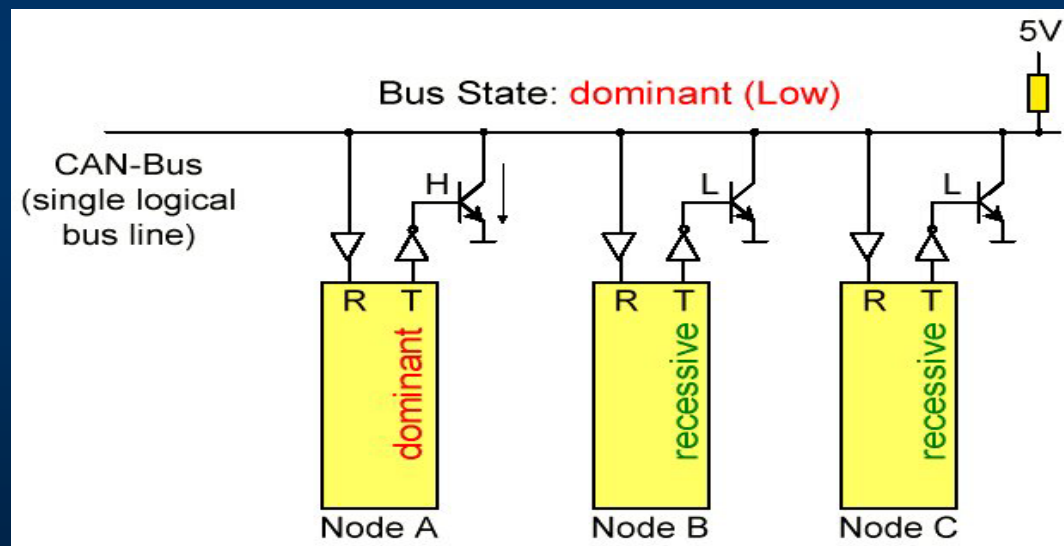
- ☞ difrencijalna prijenosna linija - parica - otpornost na intenzivne vanjske EMS utjecaje - slično kao RS485



CAN Fizička Razina

Spojeno-I svojstvo sabirnice

- ☞ uvjet za izvedivost CSMA/CD+AMP arbitraže sabirnice:
 - driveri moraju biti takvi da spajaju "transmit" liniju kontrolera na sabirnicu prema spojeno-I logici - razlika u odnosu na RS485



CAN Fizička Razina

Spojeno-I svojstvo sabirnice (2)

- Logička nula je “dominantno” stanje sabirnice - kada barem jedna CAN točka postavi nulu - sabirnica ide u stanje nule bez obzira na ostale točke koje pokušavaju postaviti “recesivno” stanje sabirnice - log. 0

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 sabirnici

- 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 koji želi poslati - poruka nivoa 0 ima najveći prioritet;
 - kod CAN2.0A identifikacijsko polje ima 11 bitova;
 - kod CAN2.0B identifikacijsko polje ima 29 bitova - veći broj različitih poruka;

Usmjeravanje podataka na CAN sabirnici (2)

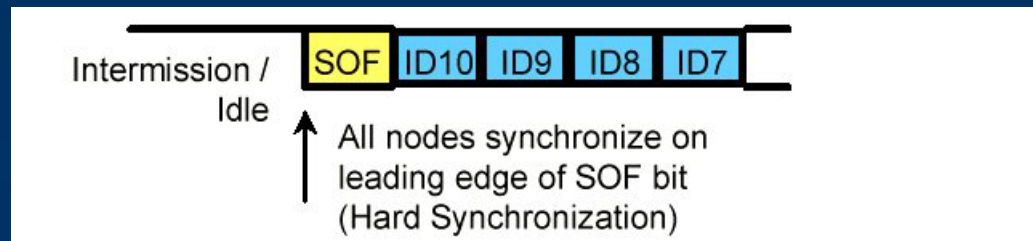
- ☞ svaka CAN točka odašilje poruke određenog tipa:
 - npr. senzor ulja šalje poruke tipa **OIL_PRESS**, senzor temperature vode poruke tipa **WATER_TEMP**;
- ☞ svaka CAN točka ima određen skup poruka koji može primiti:
 - npr. neka kontrolna točka može primiti sve poruke tipa **OIL_PRESS**, **WATER_TEMP** 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*;
- ☞ 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 je u dominantnom stanju - ova vrsta okvira ima prednost

Uzorkovanje podataka

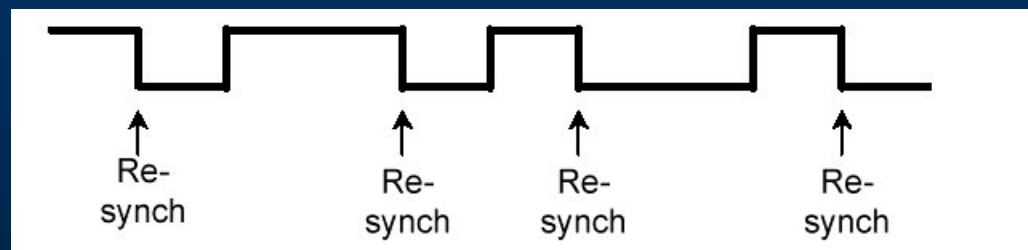
- ☞ kontroler koji prima podatke sa serijske linije nema poseban takt za sinkronizaciju sa predajnom stranom - CAN je asinkroni protokol
- ☞ sličan problem kao kod RS232 ili RS485:
 - prijemnik se sinkronizira na start bit;
 - uz poznatu brzinu prijenosa podataka, uzorkuju se ostali bitovi;
 - dužina paketa dovoljno mala da nije potrebna ponovna sinkronizacija - grješka u sinkronizaciji nije ključna kada se uzorkuje 10-tak bitova;
- ☞ u slučaju CAN-a su paketi 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 start okvira, CAN prijemnik se usklađuje na svaki padajući brid u nizu podataka - postoji sigurno svakih pet bitova (**bit stuffing**);

Uzorkovanje podataka (2)

- ☞ Sinkronizacija na početak frame-a:



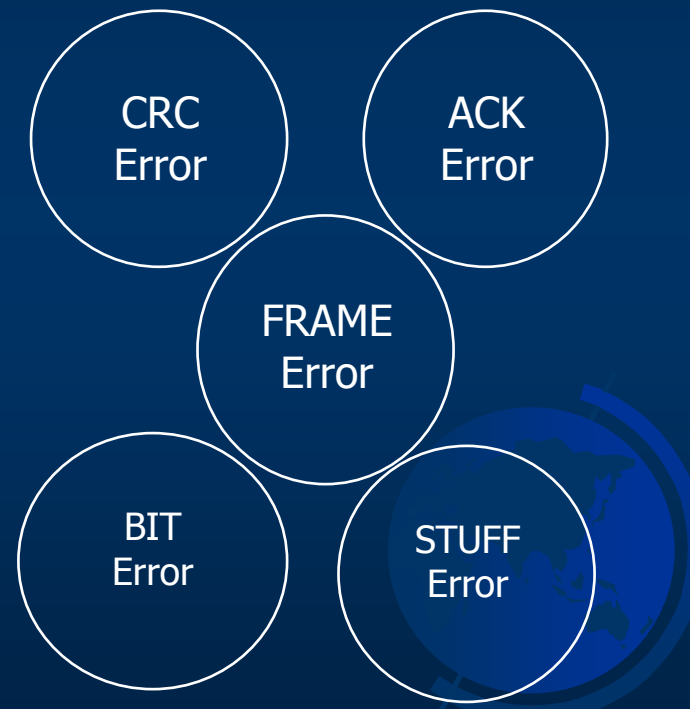
- ☞ Resinkronizacija na svaki padajući brid:



Provjera ispravnosti paketa

Načini zaštite

- ☞ CAN standard propisuje pet metoda zaštite od pogriješaka:
 - 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;



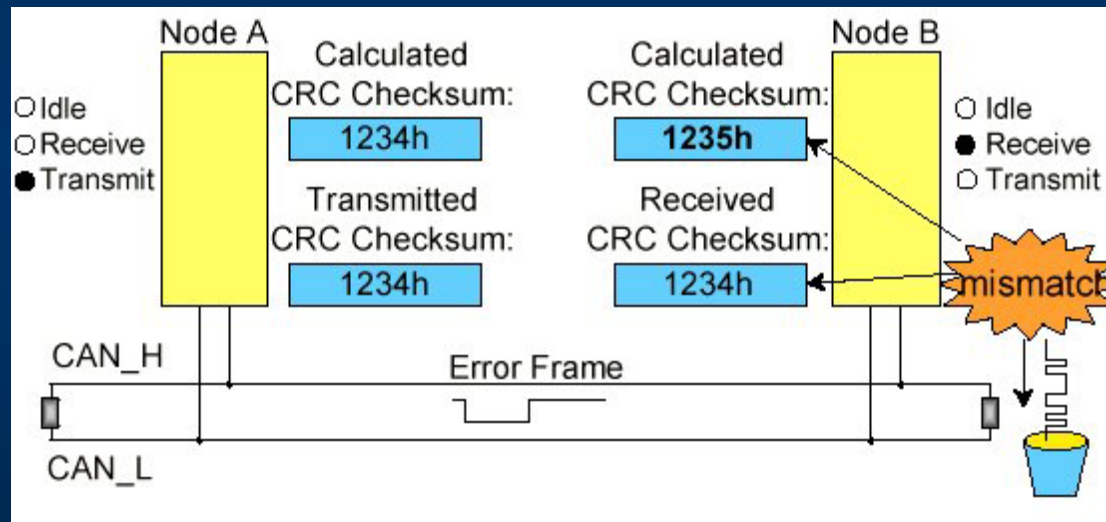
Provjera ispravnosti paketa

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;



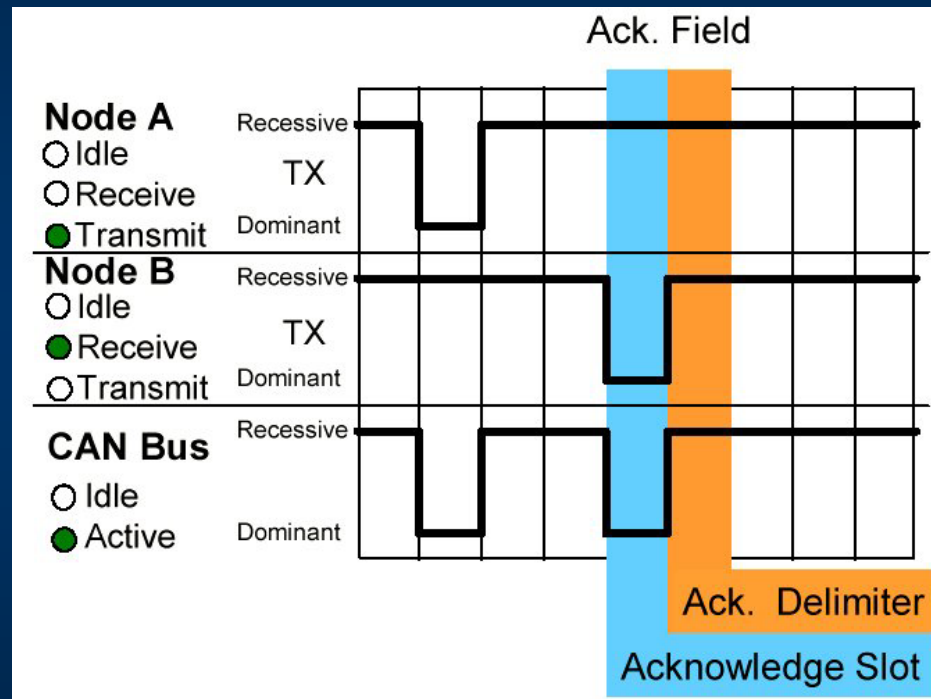
Provjera ispravnosti paketa CRC Provjera (2)



Provjera ispravnosti paketa Acknowledge bit

- ☞ “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 reemitira ovaj bit kao dominantni;
- ☞ ukoliko barem jedan uređaj primi poruku ovaj bit se nikada neće pojaviti na sabirnici kao recesivni, mada je takav emitiran;
- ☞ predajnik paraleleno sa slanjem provjerava i stanje sabirnice
- ☞ uoči li da se “acknowledge” bit pojavio na sabirnici kao recesivni, kakvim ga je on postavio, **desila se neka grješka, jer niti jedan uređaj nije primio poruku!**

Provjera ispravnosti paketa Acknowledge bit (2)



Provjera ispravnosti paketa

Frame check & Bit Monitoring

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;

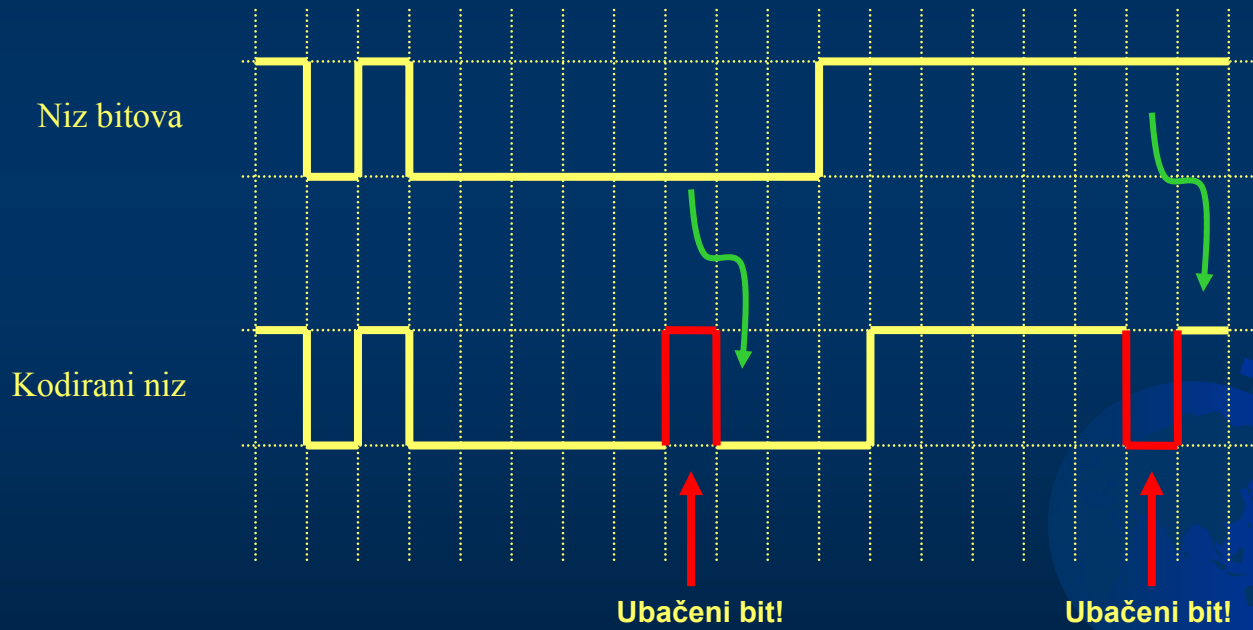
Bit monitoring:

- 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;
 - ◆ nejedakost podataka i stanja sabirnice znak je problema pri slanju;

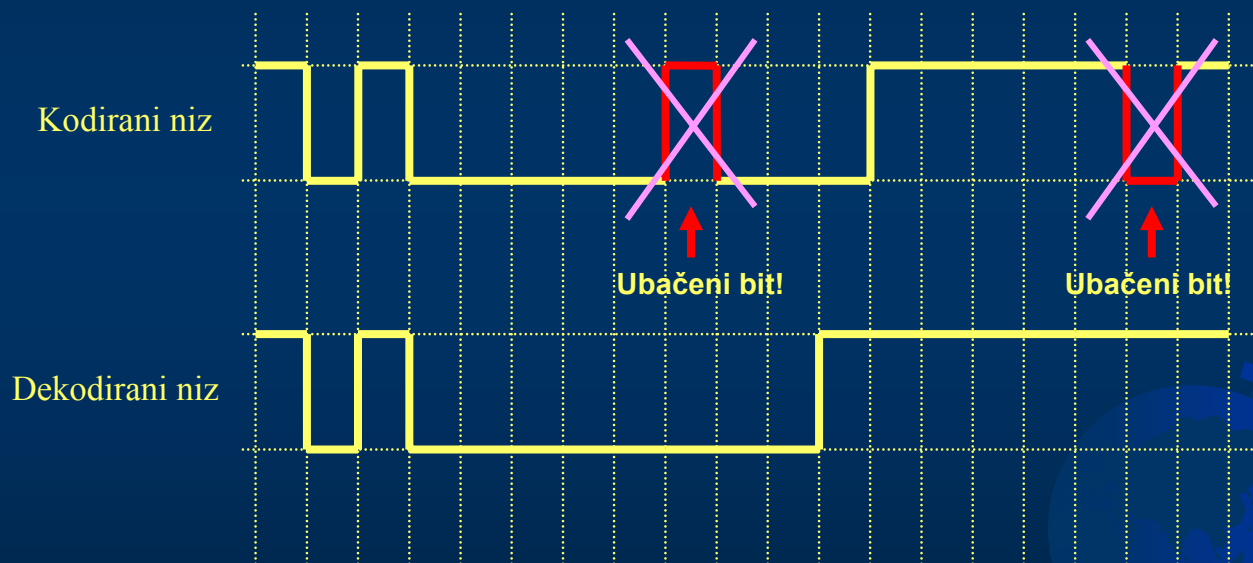
Provjera ispravnosti paketa Bit Stuffing

- ☞ **“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 pronađe da je gornji uvijet u primljenom nizu prekršen - primljeni paket smatra se pogrešnim;
- ☞ 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 Bit Stuffing - kodiranje



Provjera ispravnosti paketa Bit Stuffing - 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, diagnostike i drugim manje zahtjevnim aplikacijama;
 - ISO 11898, za brze CAN sabirnice
 - ◆ brzine prijenosa 125 kBit/s do 1 Mbit/s;
 - ◆ uporaba u visokozahtevnim dijelovima sustava, kao što je upravljanje radom motora, ABS, aktivni ovjesti i sl.

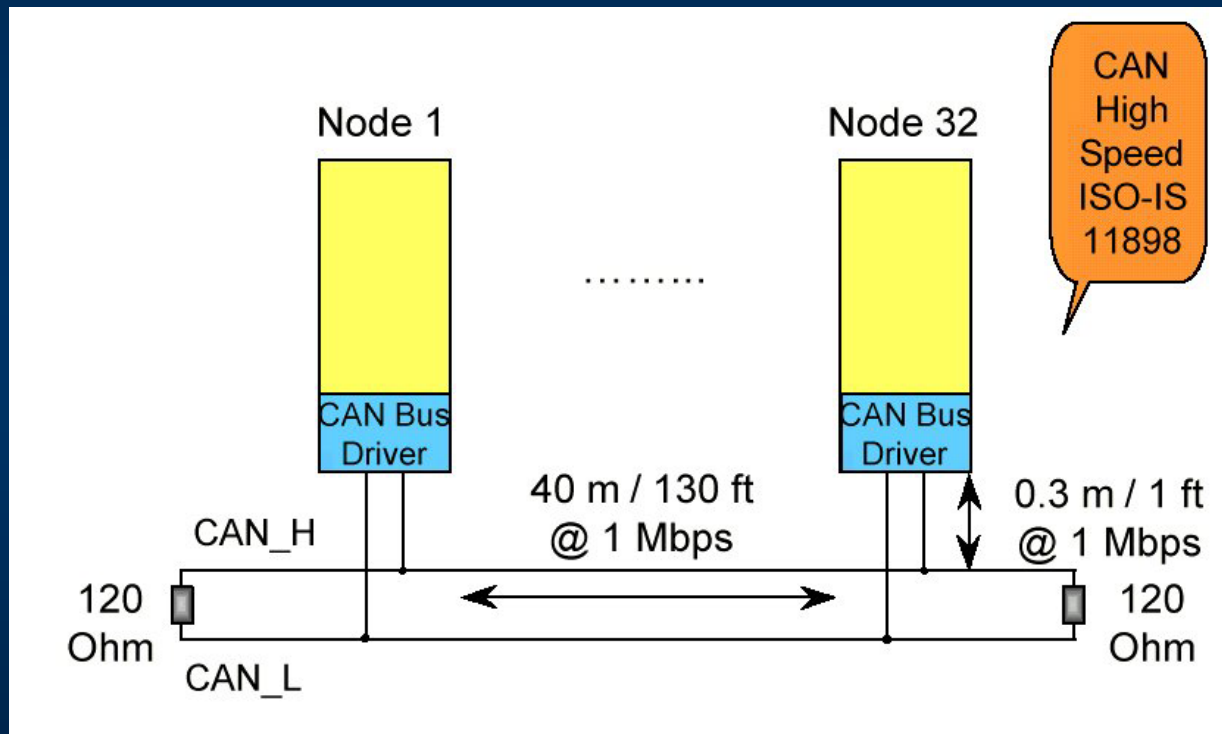
ISO 11898 CAN Standard

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 karakteritike pogonskih stupnjeva (driver-a) - 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

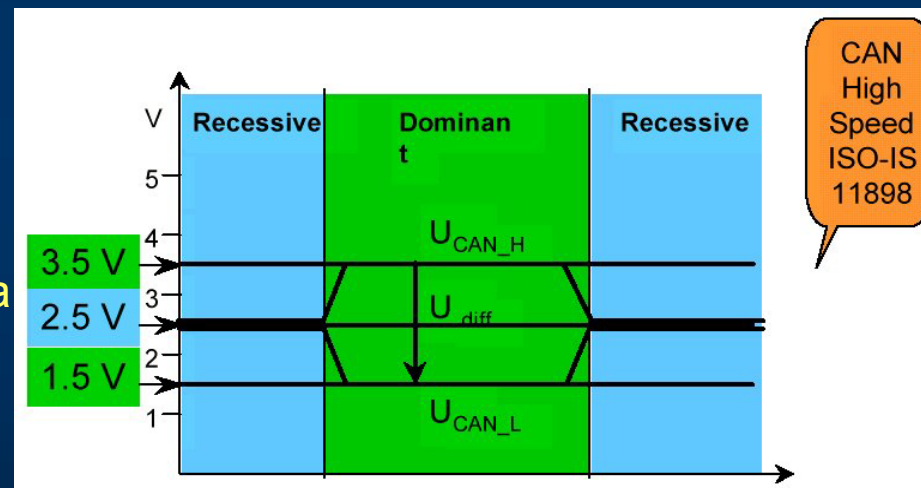
Fizička razina (2)



ISO 11898 CAN Standard

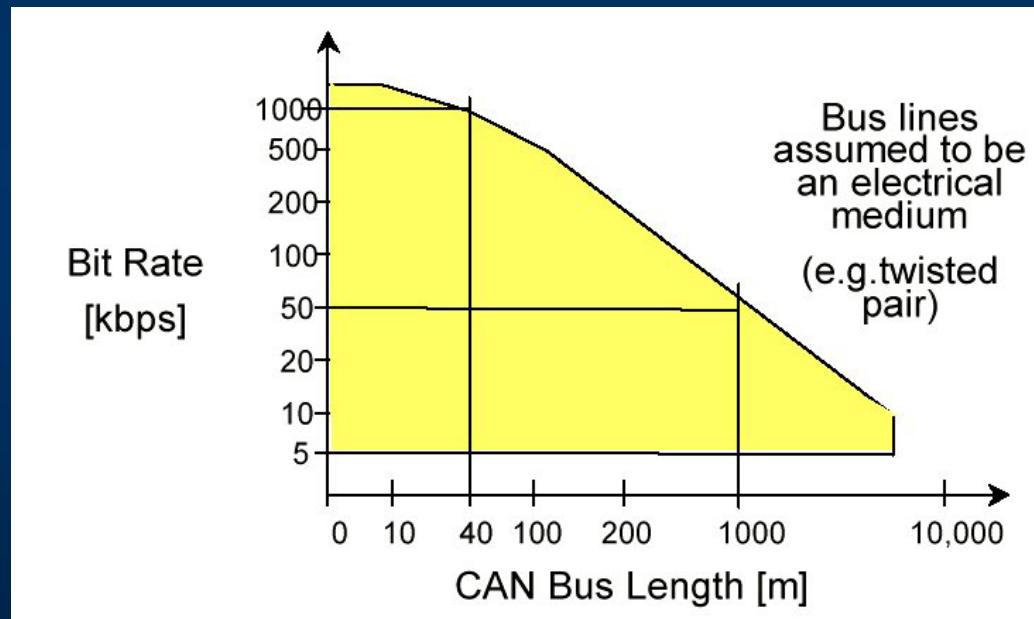
Naponske razine

- ☞ 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;



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.



Verzije CAN protokola (2)

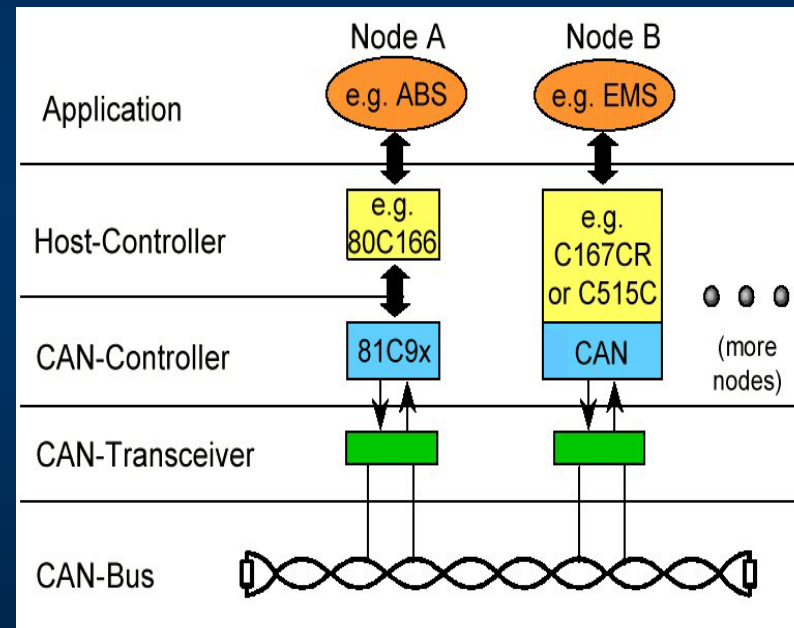
- ☞ Tri podvrste CAN protokola:
 - 2.0A - pojava 29 bitnog ID-a izaziva grešku;
 - 2.0B Passive - podnosi pojavu 29 bitnog ID-a (ne koristi ga ali ga zna ignorirati);
 - 2.0B Active - aktivno koristi 29 bitni ID.



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 - poputno 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;