

Modeliranje CAN protokola vremenskim automatima

Nikola Ivković

Fakultet organizacije i informatike

Sadržaj

- CAN protokol
- Vremenski automati
- Modeliranje CAN protokola

Uvod

- Projekt "**Verification of Real-Time Warranties by CAN Medium Access**"
 - Bilateralni projekt sa: University of Erlangen-Nuremberg, Department of Computer Science
 - CAN sabirnica u Audi-u

CAN sabirnica

- CAN = Controller Area Network
- Razvio je Robert Bosch GmbH (1986)
- Standardizirana ISO 11898
- Pogodna u sustava za rad u stvarnom vremenu
- Brzine prijenosa: 1Mbps do 40m, 50 kbs do 1km
- Današnji automobili do cca 90 uređaja priključenih na sabirnicu

Primjene

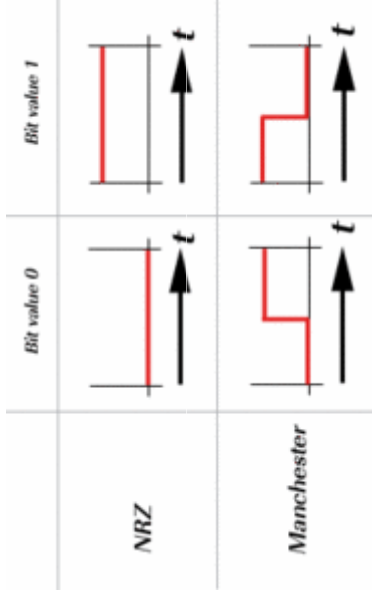
- **Transport**
 - Automobili, kamioni, autobusi, motocikli, željeznički, pomorski i zračni promet
- **Proizvodnja**
 - Automatizacija u industriji
- **Graditeljstvo**
 - Vrata, liftovi, grijanje, klimatizacija
- **Zdravstvo**
 - Medicinska oprema, laboratoriji, operacijske sale
- **Znanost**
 - Teleskopi, akceleratori čestica
- ...

ISO-OSI slojevi

- Sloj podatkovne veze i fizički sloj
- Na aplikacijskoj razini koriste se razni protokoli
 - **CANopen**
 - **J1939**
 - **CAL**
 - Mnogi drugi (DeviceNet, NMEA 2000, SDS, CAN Kingdom, SafetyBUS p, CANaerospace, SmartCraft, SafetyBUS p, EnergyBus, MilCAN,...)

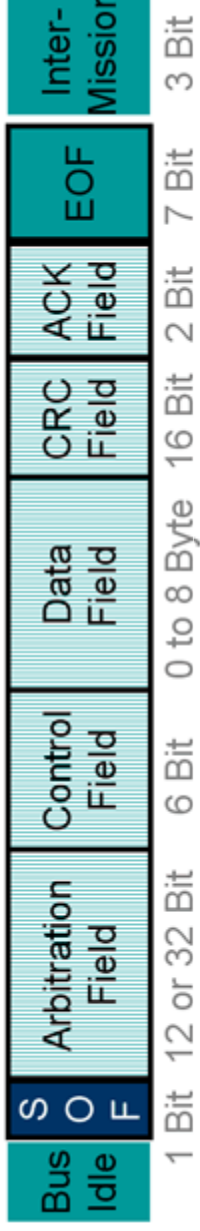
Fizički sloj

- Koriste se uglavnom žičani vodovi (UTP), ali i optička vlakna
- Dominantna i recesivna razina
- NRZ kodiranje
- Umetanje bitova (bit stuffing)
- Propagacija signala od predajnika do prijemnika i natrag do predajnika mora se obaviti unutar 1 bitovnog vremena



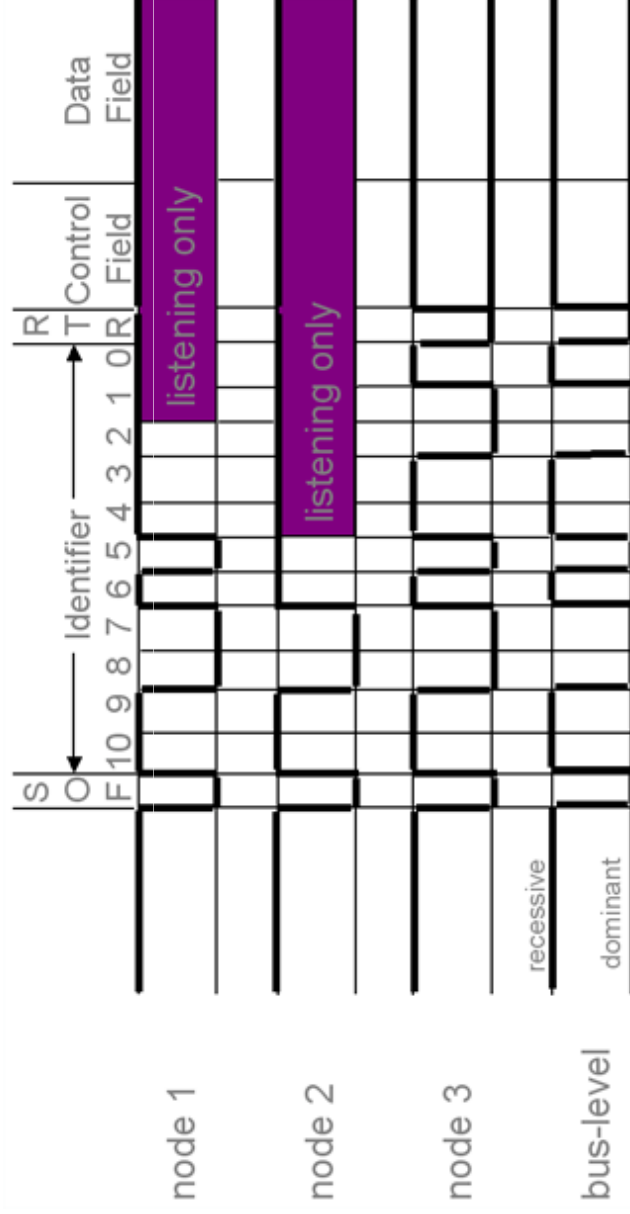
Sloj podatkovne veze

- Okviri
 - Data Frame
- Remote frame
 - Sličan kao Data Frame, nema Data Field
- Error Frame
 - Šalje ga adapter koji je detektirao grešku
- Overload Frame
 - Šalje ga adapter da bi odgodio slanje novih podatkovnih okvira



CSMA/BA

- Nema adresa, koristi se identifikator koji određuje prioritet, ack bit



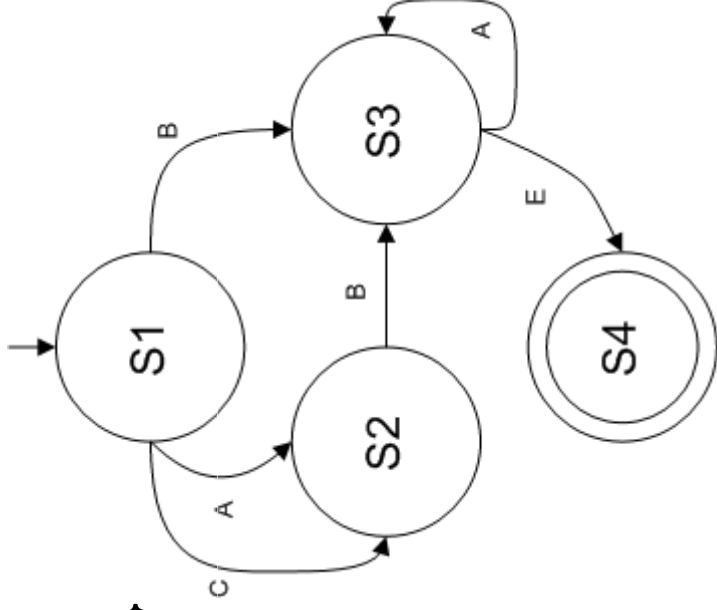
Node 3 wins arbitration and transmits his data.

Konačni automati

- Deterministički konačni automat, DKA
- Uređena petorka $dka = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$
 - Q je konačan skup stanja
 - Σ je skup ulaznih znakova (abeceda)
 - δ je funkcija prijelaza $Q \times \Sigma \rightarrow Q$
 - q_0 je početno stanje, $q_0 \in Q$
 - F je skup prihvatljivih stanja, $F \subseteq Q$
- Automati – jezici – gramatike
 - Konačni automati-regularni jezici-regularne gramatike (Chomskyjeva hijerarhija)

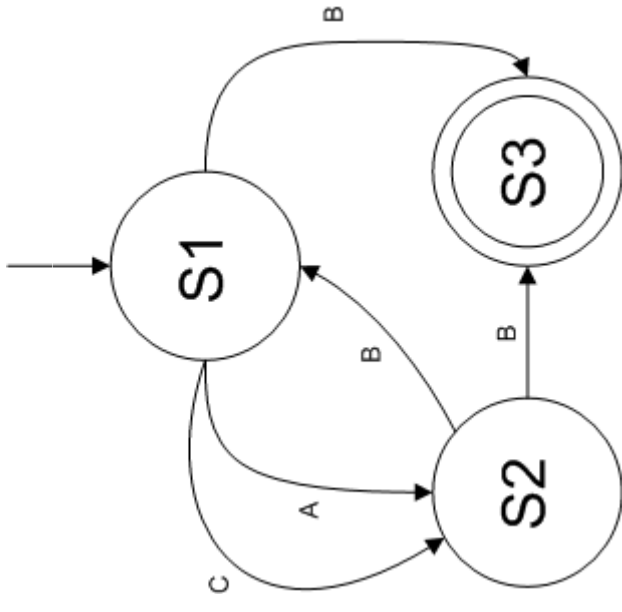
Konačni automati

- Automat reprezentiran usmjerenim grafom
- Primjer
 - $Q = \{S1, S2, S3, S4\}$, $\Sigma = \{A, B, C, E\}$
 - “ABAAAE” \rightarrow DA
 - “BAC” \rightarrow NE
 - Jezik $(B+(A+C)B)A^*E$



Konačni automati

- Nedeterministički konačni automat, NKA
 - Za dani znak moguć je prijelaz iz trenutnog stanja u skup stanja!
- Npr. $\delta(S2, B) = \{S1, S3\}$
 - Jezik $B + [(A+C)B]^+$
- Može se prevesti u DKA
 - Moguća kombinatorna eksplozija stanja



ω -regularni jezici

- Kod verifikacije npr. sklopovlja, protokola i programskih odsječaka imamo situaciju da se proces odvija “beskonačno dugo”
- ω -regularni jezici predstavljaju proširenje regularnih jezika
 - beskonačno duge riječi
 - (Büchi automat) prihvaća se riječ za koju automat beskonačno puno puta prolazi kroz barem jedno prihvatljivo stanje ($\text{inf}(r) \cap F \neq \{\}$)
- Vremenski automati:
 - Büchi, Streett, Rabin, Muller, parity automata

Proširenje s vremenskim uvjetima

- Vremenski automati dodaju vremenske uvjete koji moraju biti ispunjeni da bi se mogao dogoditi prijelaz iz stanja u drugo stanje
- Tablica prijelaza dopunjuje se vremenskim ograničenjima
- Koristi se jedan ili više satova (satne varijable)
 - Mogu biti diskretni, ali se uglavnom koristi R^+

Vremenski automati

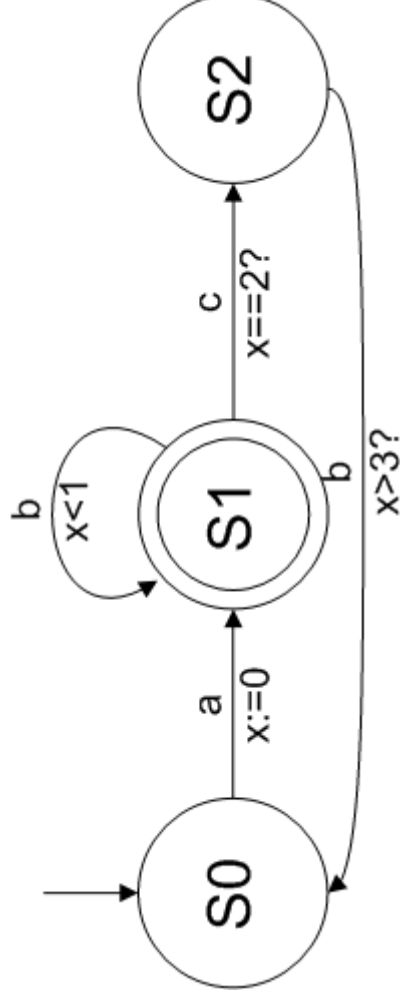
- Dodaju se:
 - Skup satnih varijabli X
 - Skup ograničenja $\Phi(X)$
 - $\phi := x \leq c \mid x < c \mid c < x \mid \phi_1 \wedge \phi_2, \quad x \in X, c \text{ je konst.}$
- Prijelaz $(s, s', a, \lambda, \phi)$
 - s je stanje u kojem se automat nalazi
 - s' je stanje u kojem se automat prelazi
 - a je ulazni znak
 - λ skup satnih varijabli koje se resetiraju $\lambda \subseteq X$
 - Mogu se i postaviti na neku vrijednost koja nije 0
 - ϕ vremensko ograničenje koje mora biti zadovoljeno

Primjer

Stanje	Sljedeće stanje	Ulazni znak	Postavljanje satne varijable	Vremenski uvjet
S0	S1	a	x:=0	
S1	S1	b		x<1
S1	S2	c		x==2
S2	S0	b		x>3

- **Npr.**

- $(a,-)(b,0.5) \rightarrow DA$
- $(a,-)(c,2)(b,5)(a,-) \rightarrow DA$
- $[(a,-)(b,0.2)(c,2)(b,7)]^\omega \rightarrow DA$
- $(b,2)(c,1) \rightarrow NE$
- $(a,1)(b,0)(b,0.3)(c,1) \rightarrow NE$
- $(a,1)^\omega(b,3) \rightarrow NE$



Model CAN-a

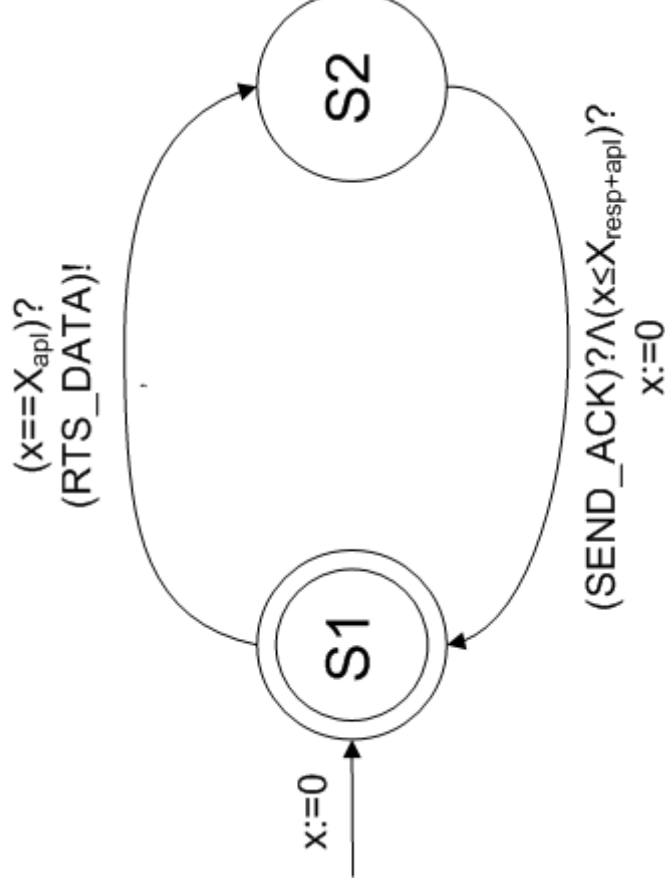
- Koristi se kompozicija automata
- Model ne sadrži prijelaze koji se javljaju u slučaju pogreške
 - Funkcije prijemnika nisu modelirane, jer ako se ne javlja pogreška on prima sve što mu šalje predajnik
- Oznake
 - “:=” postavljanje vrijednosti varijable
 - “?” provjera uvjeta
 - “!” slanje znaka

Aplikacija na čvoru

- Satna varijabla “x”
- Znakovi
 - RTS_DATA je zahtjev za slanjem i podaci koji se šalju adapteru
 - SEND_ACK potvrda adaptera da su podaci poslani
- Parametri (konstante)
 - X_{apl} je vrijeme nakon kojeg aplikacija poslala podatke
 - $X_{resp+apl}$ je vrijeme unutar kojeg mora stići potvrda

Aplikacija na čvoru

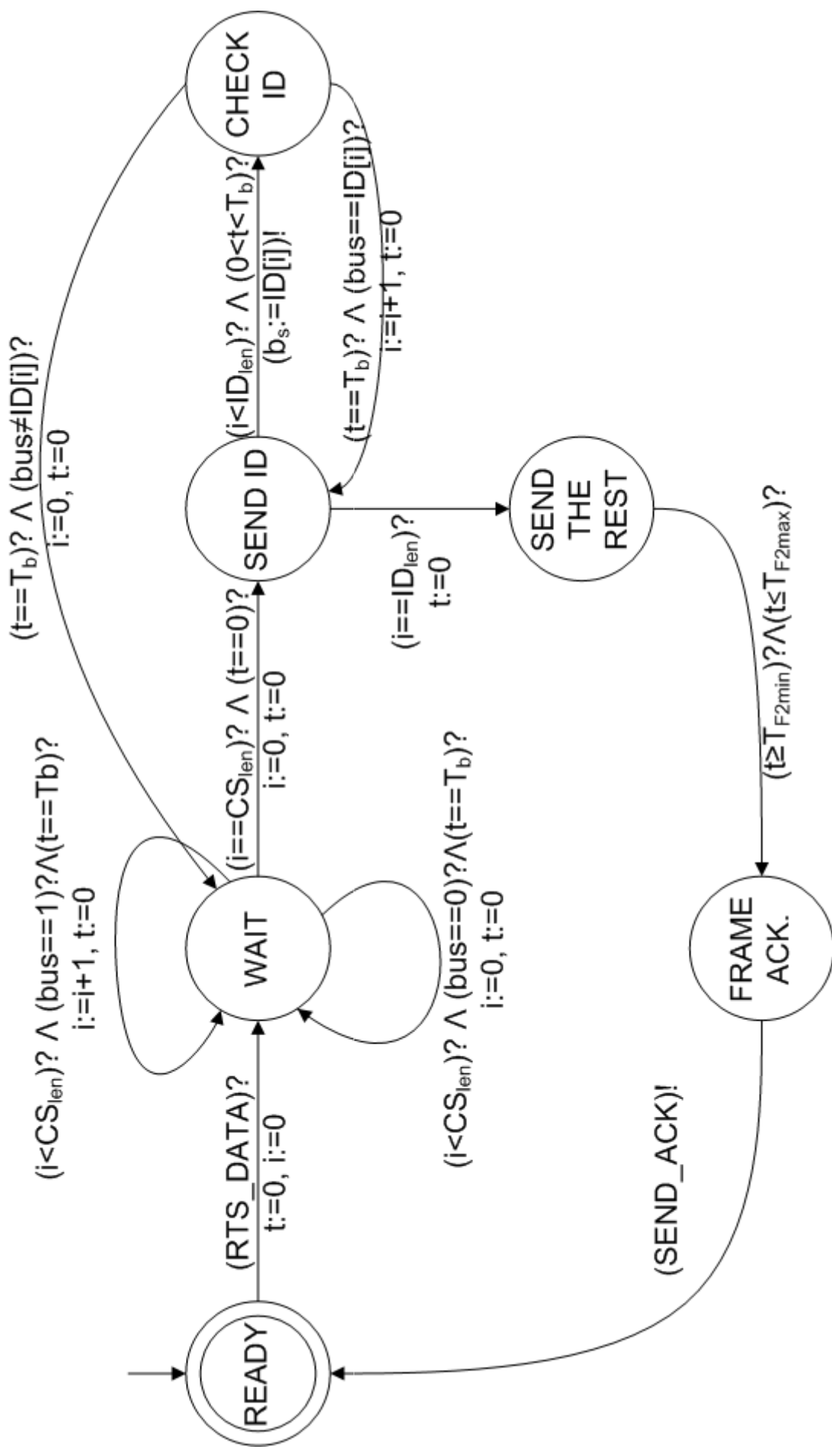
- Aplikacija šalje zahtjev za slanjem i podatke adapteru (predajniku)
 - U našem slučaju to obavlja ciklički s određenim vremenom perioda
- Adapter šalje potvrdu slanja aplikaciji



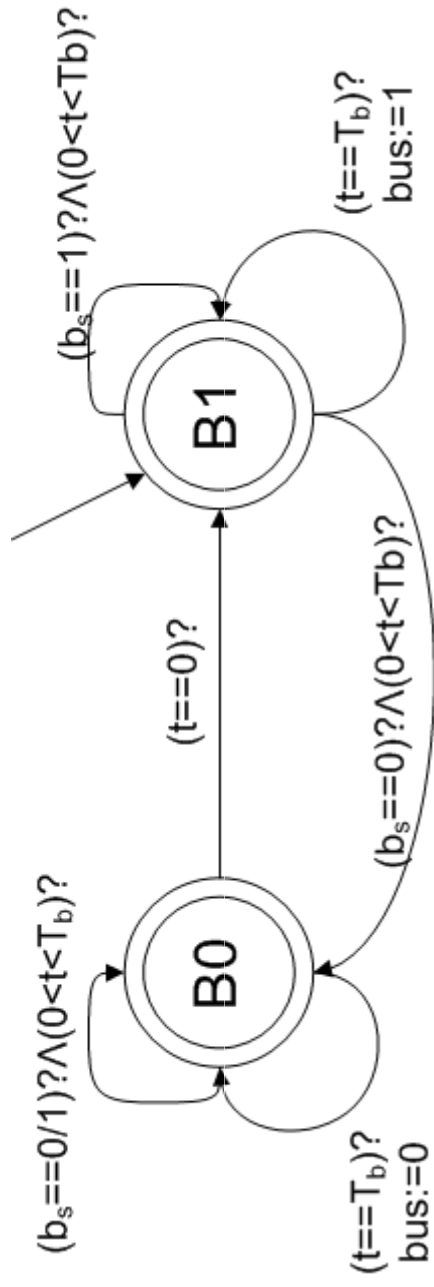
Model adaptera

- Satna varijabla “t”
- Varijable
 - Cjelobrojna lokalna varijabla “i” koristi se kao brojač
 - Globalna varijabla b_s u koju adapter upisuje vrijednost bita kojeg stavlja na sabirnicu
 - bus je varijabla u koju sabirnica upisuje koje je stanje na sabirnici
- Parametri (konstante)
 - T_b vrijeme prijenosa jednog bita $T_b = 2\mu s$
 - T_{F2} vrijeme prijenosa ostatka okvira (nakon identifikatora)
 - ID_{len} je duljina identifikatora (s umetnutim bitovima)
 - $CS_{len} = 6$ (koliko min. bitova adapter mora oslušivati vod)

Model adaptera



Model sabirnice



Kako modelirati više adaptera?

- Kada promatramo adapter koji šalje okvire određenog prioriteta trebamo promatrati i:
 - Automat koji simulira svaki onaj adapter koji se nalazi na sabirnici i šalje okvire višeg prioriteta
 - Jedan automat koji simulira sve one adaptere koji su priključeni na sabirnicu i šalju okvire nižeg prioriteta.
- Možemo uzeti da taj “zajednički adapter” stalno ima okvire koje želi poslati

Zaključak

- Postoje alati (npr. UPPAAL, KRONOS) koji mogu verificirati vremenske automate
- Vremenski automati su se pokazali prigodni za modeliranje CAN protokola
- Model je prilagođen našem problemu
 - Ne modeliraju se pogreške
- Moguća su daljnja proširenja modela

Pitanja i rasprava

