



PRIMENA CAN I SPI KOMUNIKACIONIH PROTOKOLA PRILIKOM IZVRŠAVANJA INTEGRACIONIH TESTOVA APLIKACIJE INSTRUMENT TABLE

USAGE OF CAN AND SPI COMMUNICATION PROTOCOLS DURING THE EXECUTION OF INTEGRATION TESTS FOR INSTRUMENT CLUSTER APPLICATION

Boris Deak, Boris Dumnić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast - ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu obrađena je tematika daljinskog testiranja instrument tabli i komunikacioni protokoli koji se koriste u automobilske industriji. Opisani su CAN i SPI komunikacioni protokoli i način njihove primene prilikom izvršavanja integracionih testova aplikacije instrument table.

Ključne reči – Instrument tabla, CAN komunikacija, SPI komunikacija

Abstract – In this paper, the topic of remote testbox for instrument cluster, and also CAN and SPI communication protocols are discussed. Description and practical implementation of mentioned communication protocols are given for instrument cluster application.

Keywords – Instrument cluster, CAN communication, SPI communication

1. UVOD

Automobilska industrija predstavlja jednu od najbrže rastućih u 21. veku. Danas, automobil predstavlja složen tehnički sistem kog karakteriše mnoštvo podсистема sa specifičnim funkcijama. Instrument tabla predstavlja jednu od najvažnijih elektronskih kontrolnih jedinica (engl. *Electronic Control Unit - ECU*) savremenog automobila u pogledu komunikacije sa vozačem. Današnji proizvođači automobila opremaju svoja nasavremenija vozila složenim instrument tablama koji vozaču pružaju bitne informacije [1].

Razvojni put instrument table od njene prve pojave u masovnoj proizvodnji do instrument tabli kakve danas prepoznajemo u vozilima novijih generacija je bio veoma dug. Prvi proizvedeni automobili nisu posedovali instrument table. Brzinometer je prva proizvedena komponenta koja čini današnje instrument table i prvenstveno je osmišljena iz bezbednosnih razloga.

Digitalne instrument table brzo su zamenile konvencionalne analogne table u vozilima tokom protekle decenije. Ova promena otvorila je nove oblike kreativnosti za proizvođače automobila, jer digitalizovane kontrolne table mogu da izgledaju mnogo atraktivnije. Ranije, instrument tabla je bila ograničena na nekoliko osnovnih indikatora

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Boris Dumnić, vanr. prof.

kao što su brzinometer, merač goriva, itd. Sa napretkom tehnologije, vozaču je dostupno više informacija koje su od velike pomoći tokom vožnje. Funkcije kao što su pomoć pri parkiranju, indikatori kilometraže, preostalih kilometara, uslovi vožnje, dijagnostika kvarova, signali upozorenja (poruke), itd, samo su neki od savremenih dodataka. Pored toga što su nove funkcije dizajnirane da vozači budu u potpunosti informisani o performansama automobila, mogu imati i značajnije nadogradnje u oblastima kontrole pokreta i prepoznavanja glasa. Dakle, digitalizacija instrument tabli u vrhunskim automobilima će se pojaviti kao jedan od glavnih trendova na tržištu u narednim godinama [2].

U ovom radu obrađen je značaj i razvoj softvera za instrument table u automobilske industriji. Predstavljeni su različiti nivoi aplikacije i njihova međusobna interakcija, kao i interakcija instrument table sa ostalim ECU u vozilu. Predstavljen je razvoj i značaj instrument table kao podсистема u složenom sistemu svakog vozila.

2. INSTRUMENT TABLE

Kompleksni sistemi u sklopu svakog vozila se sastoje od velikog broja različitih ECU. Svaki ECU predstavlja zaseban sistem koji je u stalnoj komunikaciji sa ostalim podсистemima putem različitih protokola i standarda komunikacije. Instrument tabla predstavlja jedan od najbitnijih ECU sistema vozilu. Glavna i osnovna funkcija instrument table jeste komunikacija i interakcija između vozača i vozila.

Instrument tabla kao finalni proizvod predstavlja kolaboraciju više različitih disciplina koje se paralelno razvijaju i međusobno usko saraduju tokom perioda razvoja instrument table. Neke od tih disciplina su razvoj softver aplikacije instrument table, razvoj vizuelnog dela aplikacije (engl. *Human to Machine Interface - HMI*) i dizajna interfejsa, razvoj hardvera i elektronskih komponenti, itd. Aplikativni deo softvera instrument tabli obuhvata dve manje celine:

- viši nivo aplikacije i
- niži nivo aplikacije.

3. APLIKATIVNI DEO INSTRUMENT TABLI

Viši nivo aplikacije koji predstavlja interakciju između samog vozača i vozila se sastoji iz dva osnovna dela: aplikativni deo i HMI deo.

Aplikativni deo višeg sloja aplikacije se sastoji iz primene različitih algoritama i logičkih funkcija koji su korišćeni u cilju postizanja efikasne implementacije zahteva proizvođača. Aplikacija instrument table se sastoji iz velikog broja funkcionalnosti i modula koji zajedno predstavljaju kompleksnu celinu, a neki od najznačajnijih su:

1. konačni automat (engl. *state machine*),
2. mehanizam upravljanja stanjima i
3. mehanizam upravljanja greškama.

3.1 Konačni automat

Glavna i osnovna funkcionalnost koju svaka instrument tabla mora imati je konačni automat. Njena uloga je da omogući vozaču da se kreće kroz navigacioni meni i da uspešno pristupi svim mogućim stranicama i podstranicama koje instrument tabla podržava. Usklađenost konačnog automata sa svim ostalim aplikativnim modulima ima krucijalan značaj za normalan i nesmetan rad svake instrument table.

3.2 Mehanizam upravljanja stanjima

Uloga mehanizma upravljanja stanjima jeste da obezbedi normalan rad instrument table i pravilan prolazak kroz različita stanja u kojima instrument tabla može biti. Stanja kroz koja instrument tabla prolazi i u kojima se može naći takođe zavise od proizvođača i njegovih zahteva. Neka od stanja su:

- aktivno stanje (engl. *active state*),
- stanje paljenja instrument table (engl. *start up state*),
- neaktivno stanje (engl. *sleep state*) i
- polu-aktivno stanje (engl. *doze state*).

Prilikom tranzicije kroz različita stanja instrument tabla neprestano komunicira sa ostalim *ECU* podsistemima u kompleksnom sistemu koje čini vozilo.

3.3 Mehanizam upravljanja greškama

Mehanizam upravljanja greškama (engl. *warning handler*) predstavlja funkcionalnost koja vozača obaveštava o aktuelnom stanju vozila, potencijalnim opasnostima, korisnim informacijama i sl.

Signalizacija obaveštenja i grešaka se mogu na različite načine prikazati vozaču, a neki od načina su iskačući prozori, uključivanje odgovarajućih led dioda (engl. *telltails*), ikonice na displeju instrument table (engl. *virtual telltalls*), interni i eksterni zvukovi, itd.

Neki primeri grešaka, upozorenja i obaveštenja su: upozorenje za sigurnosni pojas, nizak nivo goriva, neadekvatan pritisak u gumama, pokazivači pravca, ABS (engl. *Anti-lock Braking System - ABS*) upozorenje, itd.

3.4. Najčešće korišćeni algoritmi u razvoju aplikacije instrument tabli

Tokom razvoja aplikacije za instrument table i njene implementacije koristi se veliki broj različitih algoritama koji omogućavaju kretanje kroz navigacioni meni, konverziju mernih jedinica, animacije, i sl. Neki od algoritama koji se primenjuju su:

- algoritam beskonačne liste,
- algoritam za prigušenu promenu vrednosti i
- interpolacija u dve tačke.

4. KOMUNIKACIJA INSTRUMENT TABLE SA OSTATKOM SISTEMA U VOZILIMA

Svaki komunikacioni protokol koji se koristi u automobilskoj industriji mora obezbediti sigurnu, brzu i bezbednu komunikaciju u realnom vremenu.

Procenjuje se da u prosečnom vozilu današnjice složeni sistem elektronskih komponenti sadrži preko 70 *ECU* koje međusobno razmenjuju nekoliko hiljada različitih signala. Povećanjem složenosti i kompleksnosti komunikacije u složenom sistemu vozila javljaju se i prvi problemi za proizvođače. Glavni razlog za uspostavljanje standarda za efikasniju i bržu komunikaciju je smanjenje materijala potrebnog za prenosne puteve unutar sistema.

4.1. CAN komunikacija

CAN je najzastupljeniji komunikacioni protokol koji se koristi u automobilskoj industriji. Preko 90% aplikacija koristi upravo *CAN* protokol.

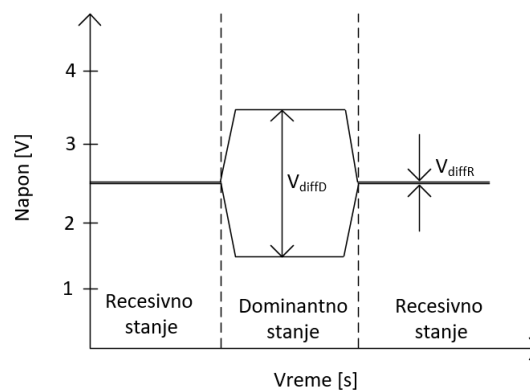
4.1.1 Osnovni principi *CAN* komunikacije

CAN je serijski protokol koji se sastoji od samo dve namenske žice od kojih je jedna višeg (engl. *CAN High – CANH*), a druga nižeg naponskog nivoa (engl. *CAN Low – CANL*). Bitna karakteristika *CAN* protokola jeste što omogućava brz, robusan i stabilan protok informacija, brzine do 1 *MB/s* (uz dužinu mrežnog metra). *CAN* komunikaciona mreža se sastoji od više čvorova (engl. *Node*) koji međusobno razmenjuju informacije putem jedinstvene komunikacione linije (engl. *CAN Bus*). Svi čvorovi su ravnopravni na mreži, ne postoji *master/slave* princip komunikacije, već se *CAN* protokol naziva još i multi-master protokolom [3].

4.1.2 Fizički sloj *CAN* komunikacionog protokola

CAN je serijski komunikacioni protokol koji se ostvaruje sa dve žice pomoću kojih se informacija prenosi tehnologijom diferencijala napona. Ova tehnologija podrazumeva da se podaci šalju jedan po jedan bit preko dva komplementarna signala – *CANH* i *CANL*. U *CAN* komunikacionom protokolu postoje jasno definisana dva moguća stanja magistrale: dominantno i recesivno stanje, kao što je prikazano na slici 2.

Dominantno stanje predstavlja situaciju kada se na ulazni pin primopredajnika dovede logička nula. Do recesivnog stanja na komunikacionoj magistrali dolazi kada se na ulazni pin primopredajnika dovede logička jedinica [4].



Slika 2. Grafički prikaz dominantnog i recesivnog stanja

CAN komunikacioni protokol podržava četiri tipa poruka:

1. poruka sa podacima (*engl. Data frame*),
2. poruka sa zahtevom za podacima (*engl. Remote frame*),
3. poruka o grešci (*eng. Data frame*) i
4. poruka sa zahtevom za podacima (*engl. Remote frame*).

4.2. SPI komunikacija

SPI komunikacija (*engl. Serial Peripheral Interface*) je sinhroni serijski komunikacioni protokol u kojem učestvuje jedan *master* kontroler i jedan ili više *slave* uređaja. Pod *slave* uređajima se podrazumevaju različiti senzori, aktuatori, memorijske kartice, pa čak i drugi kontroleri koji dobijaju instrukcije od *master* kontrolera. SPI komunikacioni protokol zahteva četiri pina za ostvarenje komunikacije između *master* i *slave* kontrolera, kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Blok šema povezivanja pinova u SPI protokolu

MISO (*engl. Master In Slave Out*) pin služi za prenos podataka u *slave* režimu. Kada *slave* šalje informacije *master* uređaju koristi MISO izlazni pin. Sa druge strane *master* poslate informacije prima preko svog MISO pina koji je definisan kao ulazni u *master* režimu rada. Pin koji se takođe koristi za prenos podataka je MOSI (*engl. Master Out Slave In*) pin. Njegova uloga je prenos podataka od strane *master* uređaja prema određenom *slave* uređaju. Prenos podataka se mora sinhronizovati sa serijskim taktom (*engl. Serial Clock*) koji se generiše na SCLK pinu. Serijski takt generiše *master* uređaj i šalje ga ka *slave* uređaju preko izlaznog SCLK pina u *master* režimu, odnosno preko ulaznog SCLK pina u *slave* režimu. Ukoliko imamo više *slave* uređaja neophodno je na neki način odrediti kojem tačno *slave* uređaju se *master* uređaj obraća i to se postiže preko SS (*engl. Slave Select*) pina [5].

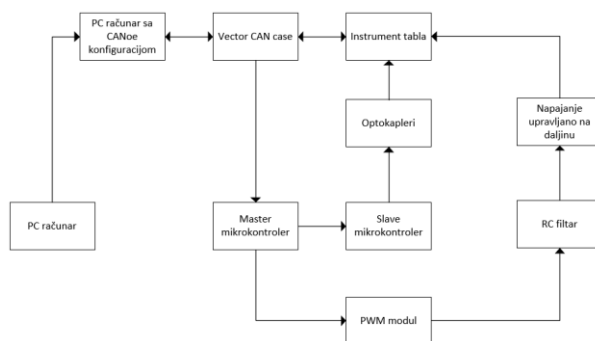
5. TESTIRANJE INSTRUMENT TABLI PRIMENOM CAN I SPI KOMUNIKACIONIH PROTOKOLA

Neizostavni deo razvoja softvera za instrument table podrazumeva i izvršavanje različitih vrsta testova kojima se potvrđuje ispravnost i učinkovitost implementirane aplikacije. Testovi se definišu i izvršavaju na osnovu definisanih zahteva proizvođača u kojima je opisano na koji način se očekuje da se određene funkcionalnosti ponašaju.

5.3 Ideja daljinskog testiranja instrument table

Prilikom postavljanja zahteva i ciljeva ovog projekta jasno je definisano da je glavni cilj omogućiti testiranje aplikacije instrument table bez direktnog posedovanja opreme za testiranje. Najbrojniji ulazni parametri u aplikaciju instrument table su različite CAN poruke i signali, ali pored njih veoma bitnu ulogu imaju i digitalni ulazi, koji su realizovani dovođenjem tačno definisanog

naponskog nivoa na određeni ulazni pin instrument table. Softver koji se koristi za simuliranje CAN komunikacione mreže u realnom okruženju je *Vector CANoe* i u njemu se kreira *CANoe* konfiguracija koja se sastoji od svih poruka koje se šalju ka instrument tabli od strane drugih elektronski kontrolnih jedinica vozila. Pored ulaznih CAN poruka, bitnu ulogu u testiranju aplikacije instrument table imaju i digitalni ulazi. Na slici 4 prikazana je blok šema postavke za daljinsko testiranje instrument table.



Slika 4. Blok šema daljinskog testiranja instrument table

PC računara sa *CANoe* konfiguracijom je povezan sa instrument tablom i *master* mikrokontrolerom preko *CANCase* hardvera, koji prilagođava CAN komunikaciju na USB ulaz PC računara. CAN komunikacionim protokolom se instrukcije šalju od strane PC računara prema *master* mikrokontroleru, čija je uloga obrada informacija koje stižu sa CAN magistrale i prosleđivanje stanja digitalnih ulaza ka *slave* mikrokontroleru preko SPI protokola. Digitalni izlazi *slave* mikrokontrolera se vezuju sa optokaplerima koji obezbeđuju galvansku izolaciju između mikrokontrolera i instrument table, optokapleri u provodnom stanju dovode potrebni napon na digitalni ulaz instrument table.

Stanje digitalnog izlaza *slave* mikrokontrolera zavisi od vrednosti koja je zadata u *CANoe* konfiguraciji i zatim prosleđena CAN komunikacionim protokolom preko *master* mikrokontrolera. Pored digitalnih ulaza moguće je regulisati i napon napajanja instrument table. *Master* kontroler putem CAN signala dobija vrednost faktora ispuhe kojim se reguliše vrednost napona napajanja instrument table.

Vrednost faktora ispuhe je u opsegu 0-255 i na taj način se menja širina izlaznog PWM signala iz *master* kontrolera. Povorka signala u opsegu 0-5V se dovodi na RC filter koji povorku pretvara u jednosmerni signal konstantne vrednosti uz minimalna odstupanja. Filtrirani napon koji može biti u opsegu 0-5V, u zavisnosti od vrednosti faktora ispuhe, se dovodi na laboratorijsko napajanje koji ima mogućnost kontrole napona napajanja sa ulaznim naponom, gde ulazni napon 0-5V odgovara izlaznom naponu 1-32V.

6. ZAKLJUČAK

Digitalnim razvojem i tehnološkim napretkom stvoreni su uslovi rada u kojima se može sve lakše realizovati rad na daljinu. Potreba za mobilnošću posebno je došla do izražaja 2020. godine izazvana globalnom pandemijom. U svakom smislu, ovo je bio veliki izazov za mnoge kompanije i preduzeća. U radu je priložen projekat kojim je ostvarena mogućnost lakšeg rada na daljinu prilikom

razvoja aplikacije i izvršavanja integracionih testova instrument tabli, gde se praktičnom primenom *CAN* i *SPI* komunikacionih protokola postižu isti rezultati kao i direktnim korišćenjem opreme za testiranje.

7. LITERATURA

- [1] S. Nimara, D. B. Popa, and R. Bogdan, "Automotive instrument cluster screen content validation," in *2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR)*, Belgrade, Nov. 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/TELFOR.2017.8249425.
- [2] S. Kalkar, I. Bose, B. Saloni, S. Anilkumar, and S. Tavhare, "Machine Learning based Instrument Cluster inspection using Camera," presented at the 10TH SAE India International Mobility Conference.
- [3] D. Ibrahim, *Controller Area Network projects*. United Kingdom: Elektor International Media, 2011.
- [4] *From theory to practical applications*. New York: Springer, 2013.
- [5] Dawoud Shenouda Dawoud, Peter Dawoud, *Serial Communication Protocols and Standards*, River Publishers 2020.

Kratka biografija:



Boris Deak rođen je u Somboru 1997. godine. Osnovne studije završio je na Fakultetu tehničkih nauka 2020. godine. iz oblasti Elektrotehnika i računarstvo, smer Energetska elektronika i električne mašine. Master rad, na istom fakultetu, je odbranio 2022. godine.
Kontakt: boris.deak@gmail.com



Boris Dumnić rođen je 1976. godine. Zaposlen je na Fakultetu tehničkih nauka, Departmanu za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, Katedri za energetska elektroniku i pretvarače. Oblasti interesovanja su mu električne mašine, pogoni, energetska elektronika i obnovljivi izvori električne energije.