

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 4367

**SUČELJE EEG POJAČALA I SUSTAVA
logiRECORDER**

Mihael Varga

Zagreb, lipanj 2016.

Zagreb, 11. ožujka 2016.

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4367

Pristupnik: **Mihael Varga (0036471690)**
Studij: Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Modul: Elektroničko i računalno inženjerstvo

Zadatak: **Sučelje EEG pojačala i sustava logiRECORDER**

Opis zadatka:

Projektirati i sklopovski realizirati sučelje elektroencefalografskog (EEG) pojačala i sustava za všekanalnu pohranu heterogenih signala logiRECORDER (Xylon d.o.o.). Sučelje treba ostvariti korištenjem mikrokontrolera STM32F429 i na njemu razviti programsku podršku za upravljanje svim postavkama sučelja. Nadalje, programska podrška treba omogućiti prikupljanje signala s EEG pojačala u stvarnom vremenu, prikaz signala s odabranog kanala na LCD zaslonu te prilagodbu signala u format pogodan za pohranu u logiRECORDER. Posebnu pažnju posvetiti vremenskoj sinkronizaciji EEG signala i ostalih signala koji se pohranjuju u logiRECORDER. U svezi dobivanja detaljnih informacija obratiti se mentoru.

Zadatak uručen pristupniku: 18. ožujka 2016.
Rok za predaju rada: 17. lipnja 2016.

Mentor:



Prof. dr. sc. Mario Cifrek

Djelovođa:



Izv. prof. dr. sc. Dražen Jurišić

Predsjednik odbora za
završni rad modula:



Prof. dr. sc. Mladen Vučić

Zahvala

Zahvaljujem se svome mentoru, prof. dr. sc. Mariju Cifreku na savjetima, pomoći i pruženoj prilici u vezi izrade ovog rada. Nadam se da sam opravdao povjerenje koje mi je pružano od početka.

Hvala kolegi Krešimiru Friganoviću na pomoći prilikom izrade ovog rada, svaki savjet je pridonio ubrzanju njegove realizacije.

Želio bih se zahvaliti Hrvoju Juriću na tome što mi je pomogao s izradom programske podrške i potaknuo me da na efikasniji način pristupim problemima.

Također bih se zahvalio Vladi Margetiću koji je omogućio da mehanička izrada sustava bude brža.

Na kraju bih se htio zahvaliti svojoj obitelji, a najviše roditeljima koji su mi omogućili studiranje i podržavali me svo ovo vrijeme.

Od sveg vam srca *fala*.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Opis sustava.....	2
2.1. Blok shema sustava.....	2
2.1.1. EEG pojačalo ADS1299	2
2.1.2. Serijsko / CAN sučelje.....	3
2.1.3. logiRECORDER	4
2.1.4. Sabirnice i priključci	4
2.1.5. Urban Revolt Power Bank 8800	5
2.2. Primjena sustava	6
3. Razvojno sučelje MINI-M4.....	7
3.1. Korišteni ulazi i izlazi na razvojnom sučelju	8
4. Komunikacija sa EEG pojačalom	10
4.1. Serijska komunikacija	10
4.1.1. Opis serijske komunikacije	11
4.1.2. Universal Asynchronous Reciever/Transmitter	12
4.2. Oblik podataka iz EEG pojačala	15
4.3. Naredbe za EEG pojačalo	16
5. Komunikacija s logiRECORDER-om	18
5.1. Controller Area Network (CAN).....	18
5.1.1. „Standard CAN“ standard	18
5.1.2. Arbitracija i logička stanja na CAN sabirnici	20
5.1.3. CAN sabirnica	21
5.2. Komunikacija od sučelja prema logiRECORDER-u	22
5.3. Komunikacija od logiRECORDER-a prema sučelju	24
5.4. Svojstva korištenog CAN protokola	25
5.5. Mogućnost dodavanja dodatnog CAN čvora.....	26
6. Programska podrška za mikrokontroler	27
6.1. Pregled funkcija programske podrške.....	27
6.2. Strukture korištene u programskoj podršci.....	29
6.3. Opis programske podrške.....	30
7. Proces snimanja i slanja podataka	33

8. Izrada sučelja na univerzalnoj tiskanoj pločici	34
8.1. Shema sučelja	34
8.2. Korištene komponente	36
8.2.1. Opto-izolator 6N137	36
8.2.2. CAN primopredajnik VP230	37
8.2.3. Ostale komponente	37
8.3. Lemljenje i montaža u kućište	38
9. Zaključak	39
10. Literatura	40
Sažetak	42
Summary	43

1. Uvod

Sučelje EEG pojačala i sustava logiRECORDER (Xylon d.o.o) je dio većeg projekta koji se bavi nadzorom umora osobe (u ovom slučaju vozača automobila) i prepoznavanjem karakteristika umora. Sučelje se koristi kao posrednik u prijenosu podataka prilikom mjerenja EEG signala u simulatoru (ili automobilu) radi dobivanja podataka o trenutnom stanju umora vozača. Rad je idejno zamišljen kako bi omogućio spremanje podataka s EEG pojačala i ostalih indikatora umora (tipkala i papučice kočnice) u logiRECORDER.

Ovaj rad dati će opis namjene sučelja, razlog za njegovu realizaciju te način realizacije. Bit će dan pregled korištene programske podrške, funkcija unutar koda, opis mikrokontrolera te kratko objašnjenje komunikacije. Opisana CAN i serijska komunikacija potkrijepljene su primjernima o tipovima podataka koji se njima prenose i što se nalazi na kojoj brojevnoj poziciji unutar poruka.

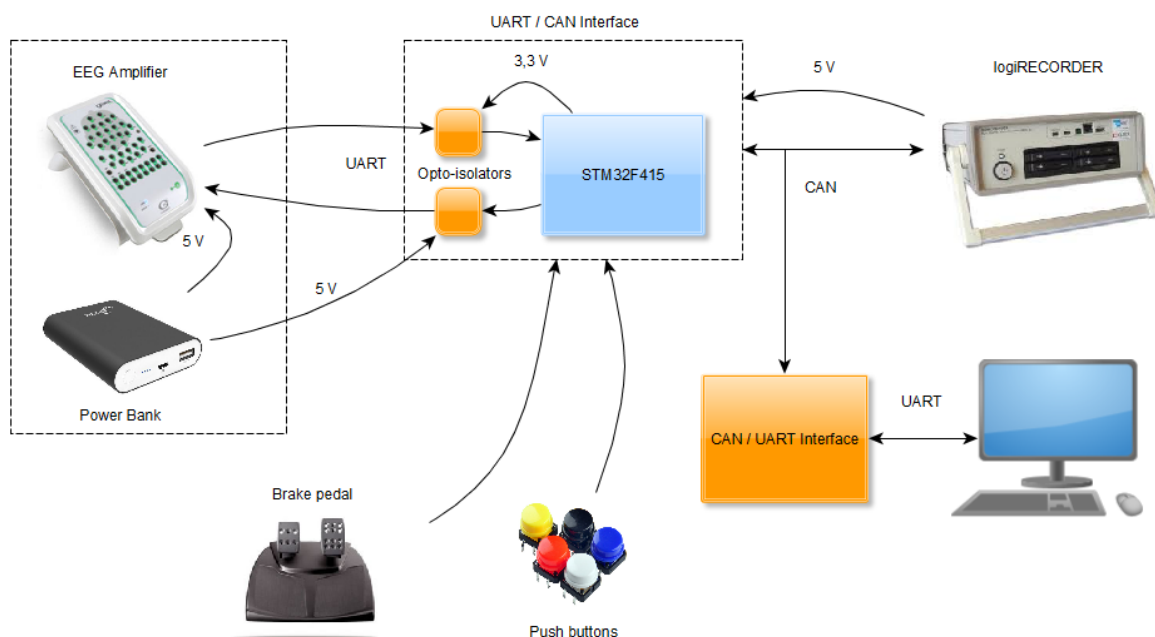
Realiziranim sustavom omogućena je dvosmjerna komunikacija u stvarnom vremenu između pojačala i logiRECORDER-a, upravljanje pojačalom te spremanje podataka s kamera (video snimke), EEG podataka, podataka s kočnice i tipkala u podnaslove video snimke unutar logiRECORDER-a. Ovi podaci su vremenski sinkronizirani što je ključno za provedena mjerenja pošto se želi vidjeti sličnost između EEG signala i video snimaka na kojima vidimo pokrete ispitanika.

2. Opis sustava

Sučelje EEG pojačala i sustava logiRECORDER (u nastavku teksta sučelje) sastoji se od nekoliko većih cjelina. Ovo poglavlje objašnjava blok shemu cijelog sustava koja će biti razlagana na manje dijelove i obrađivana zasebno kroz rad.

2.1. Blok shema sustava

Sa slike je vidljivo od kojih se cjelina sastoji sustav. Kako je tema ovog rada samo sučelje naglasak će biti na njemu dok će se ostali dijelovi kratko obraditi jer su potrebni za shvaćanje načela rada kompletnog sustava.



Slika 1. Blok shema sustava

2.1.1. EEG pojačalo ADS1299

Elektroencefalografsko pojačalo (u nastavku EEG pojačalo) je elektronički uređaj koji služi za mjerenje i pojačavanje fiziološke električne aktivnosti mozga. EEG pojačalo je zapravo varijacija instrumentacijskog pojačala i karakteristike koja se očekuju od takvog pojačala su: visoka ulazna impedancija (veća od $10\text{ M}\Omega$), visoki faktor potiskivanja (veći od 10^7), frekvencijsko područje rada od 0 do 100 Hz, mali unutarnji naponski i strujni šum. Ovakvi zahtjevi na pojačalo su nužni jer je EEG signal koji se mjeri vrlo male amplitude (0 – 100 μV).

EEG pojačalo korišteno u ovom radu je diplomski rad Marka Medveda. Pojačalo je izvedeno pomoću integriranog kruga ADS1299. Taj integrirani krug u sebi sadrži 8 – kanalno diferencijsko pojačalo, delta – sigma analogno – digitalni pretvornik ($\Delta\Sigma$ ADP) koji istovremeno sa 24 – bitnom rezolucijom uzorkuje ulazne signale sa svih 8 kanala. Razina ulaznog referentnog šuma ovakvog pojačala je oko 0,5 μV vršne vrijednosti što znači da će za tu vrijednost amplitude signala na ulazu, na izlazu pojačalo davati napon iste te vrijednosti. Nadalje, ovo pojačalo troši veoma malo snage (5 mW po kanalu), frekvencija uzorkovanja se može podešavati od 250 Hz do 16 kHz-a. U konkretnom slučaju koristimo frekvenciju uzorkovanja od 250 Hz jer je to dovoljno za snimanje EEG signala. ADS1299 u sebi sadrži oscilator frekvencije 1 Hz za davanje testnog signala na izlazu.

EEG pojačalo promatra se kao zaokružena cjelina, odnosno kao crna kutija iz koje se dobivaju serijski podatci i neće se razmatrati što se događa u njemu. Potrebno je napomenuti da se pojačalo napaja iz baterijskog izvora napajanja (*power bank* inače korišten za punjenje mobitela) koji uz pojačalo napaja i ulazni, odnosno izlazni stupanj opto-izolatora koji služe za galvansko odvajanje pojačala od ostatka sklopovlja (pogledati: 2.1.5. *Urban Revolt Power Bank 8800*).

2.1.2. Serijsko / CAN sučelje

Središnji dio sustava je sučelje između serijske komunikacije (TTL logika sa visokom razinom napona od 3,3 V) i Controller Area Network-a (u nastavku CAN), odnosno kako i sam naslov rada govori: „Sučelje EEG pojačala i sustava logiRECORDER“. Pojedinačni dijelovi sučelja biti će obrađeni kasnije, za konceptualno shvaćanje rada cijelog sustava potrebno je samo razumjeti da ono prihvaća podatke preko serijske komunikacije, vrši preoblikovanje poruka te ih na izlaznu sabirnicu šalje CAN-om. Ako se podaci šalju u drugom mjeru, primaju se CAN poruke, a na drugoj strani se one šalju serijskom vezom (prema EEG pojačalu ili prema računalu).

Ovaj odabir je napravljen zato što je serijska komunikacija podložna smetnjama i nije prikladna za slanje podataka prema logiRECORDER-u – on podržava CAN komunikaciju koja je uz to otpornija na smetnje i podaci se mogu prenositi na veće udaljenosti. Pošto je upotreba sučelja predviđena za automobile, gdje vladaju veće elektromagnetske smetnje, CAN kao standard za auto-industriju je dobar odabir.

2.1.3. logiRECORDER

Punim imenom „logiRECORDER Multi-Channel Video Recording ADAS Kit“ (Xylon d.o.o.) je uređaj koji služi za istovremeno snimanje nezavisnih 6 video kanala sa Xylon-ovih kamera. U podnaslove videa se spremaju podaci koji dolaze na logiRECORDER putem „OBD-II diagnostic“ sabirnice te sa vanjskog GPS modula (ti podaci su brzina automobila, njegova pozicija). Pohranjeni video se sprema na 4 SSD uređaja u nekomprimiranom .avi formatu.

LogiRECORDER se primarno koristi za snimanje videa sa 5 nezavisnih kamera koje su postavljene na 4 strane vozila: prednja i stražnja strana automobila, lijevi i desni retrovizori te kamera koja snima cestu ispred ugrađena na prednje vjetrobransko staklo. Zbog svrhe za koje se logiRECORDER koristi u ovom projektu (snimanje osobe u simulatoru i snimanje osobe u pravom automobilu na terenu) koriste se samo dvije kamere. Prva kamera snima osobu koja vozi automobil, odnosno simulator automobila, dok druga snima cestu ispred njega, odnosno monitore simulatora. Svrha ovih dviju kamera je ta da se na snimci može pratiti trenutno stanje prometa na cesti (ili u simulatoru) te reakcije vozača na nastale prilike u prometu.

U svoje podnaslove logiRECORDER sada ne zapisuje podatke o vozilu nego podatke dobivene preko CAN sabirnice koji sadrže informacije dobivene sa sučelja, a to su: podatci s EEG pojačala i podatci o tipkalima i kočnici.

2.1.4. Sabirnice i priključci

U sustavu prikazanom na blok shemi sustava (*Slika 1. Blok shema sustava*) koriste se dvije komunikacijske sabirnice: serijska i CAN sabirnica. Uz njih koristimo sabirnice za povezivanje tipkala i kočnice u simulatoru. Kroz njih se ne odvija nikakva komunikacija nego se samo promjeni logička razina kod pritiska na tipkalo, odnosno papučicu kočnice.

Serijska sabirnica koristi TTL 3,3 V logiku, a za povezivanje se koristi upletena parica. Jedna od žica te parice spojena je na odašiljački izvod: *Tx* izvod mikrokontrolera, dok je druga spojena na primajući (*Rx*) izvod. Ove dvije žice moraju biti obrnuto spojene na strani EEG pojačala, dakle *Rx* linija se spaja na *Tx* izvod i obratno (pogledati: *4.1. Serijska komunikacija*). Iako bi ova sabirnica trebala imati vod za zajednički potencijal (GND) on u slučaju povezivanja sučelja sa EEG

pojačalom nije potreban jer se i zajednički potencijal i potencijal napajanja dovode kroz posebni kabel za napajanje opto-izolatora sa EEG pojačala. Ako se sučelje pak povezuje s računalom, obavezno je koristiti i ovaj vod. Priključnice korištene na ovoj sabirnici su ženski DB–9 priključci. Raspored povezivanja vodova ove i svih sabirnica vidljiv je na shemi sučelja (*Slika 15: Električna shema sučelja*).

CAN sabirnica također koristi četiri upletene žice: dvije informacijske, dvije za vod zajedničkog potencijala. Kod CAN sabirnice obje komunikacijske žice služe za primanja ili slanja podataka u određenom trenutku (CAN ne podržava istovremeno slanje i čitanje). Detalji o CAN protokolu su objašnjeni u poglavlju: *5.1. Controller Area Network (CAN)*. Upletanje žica je veoma važno kod ove sabirnice tako da se smanje magnetske smetnje prilikom slanja podataka. Korištene priključnice su RJ-45 (mrežni – ethernet) priključci. Iako RJ-45 nije standardizirani CAN priključak, koristi se zato jer takav priključak ima logiRECORDER.

Sabirnice kojom su povezana tipkala su također upletene parice. Kod ove sabirnice upletanje ponovo ima značaj jer bi se bez njega promjenom stanja napona unutar jedne žice (koja predstavlja određenu tipku) napon inducirao na susjednoj žici pa bi procesor dobio informaciju da je pritisnuta i druga tipka koja je povezana tom žicom. Priključnice za ovu sabirnicu su RJ-50 priključci.

Kabel koji se koristi za napajanje opto-izolatora iz baterije EEG pojačala su dvije upletene žice čiji je priključak RJ-14. Odabir ovog priključka je zato što on ima mehanički osigurač pa se ne može lako odspojiti. Ovakav isti konektor koristi se za kabel koji povezuje sučelje sa papučicom kočnice u simulatoru.

Posljednji priključak korišten na sučelju je USB A tip koji služi za dovod napajanja s računala ili nekog drugog izvora napajanja iznosa 5 V istosmjerne struje. Ako se sučelje napaja s računala ovaj priključak može biti korišten za preprogramiranje mikrokontrolera uz uvjet da se on prethodno ponovo pokrene.

2.1.5. Urban Revolt Power Bank 8800

Baterija koju koriste EEG pojačalo i opto-izolatori, odnosno jedan izlazni i jedan ulazni stupanj od dva opto-izolatora je zapravo prijenosni punjač za mobitele i tablete „*The Urban Revolt Power Bank 8800*“. Napon koji ovaj uređaj daje na izlazu je 5 V istosmjerne struje na dva USB tip A priključka. Maksimalna struja koju *power*

bank može dati na izlazu iznosi 2 A. Punjenje *power bank*-a se odvija automatski pošto on u sebi sadrži elektroniku za regulaciju punjenja tako da se na njegov treći (ulazni) mikro USB priključak dovede napon od 5 V. Kapacitet *power bank*-a iznosi 8800 mAh što je i više nego dovoljno za cjelodnevni pogon EEG pojačala i opto-izolatora koji zajedno troše oko 150 mA.

EEG pojačalo napaja se iz baterije iz razloga da se preko linija vodova napajanja ne uvedu smetnje na pojačalo iz mreže, odnosno da napon bude čim stabilniji. Iz istog razloga koristi se galvansko odvajanje serijske sabirnice i napajanje opto-izolatora iz te iste baterije – želimo dva nezavisna strujna kruga. Smetnje su nepoželjne jer je EEG pojačalo vrlo osjetljivo pošto mjeri signale malih amplituda (spomenuto kod zahtjeva na pojačalo: 2.1.1. *EEG pojačalo ADS1299*).

2.2. Primjena sustava

S okvirnom slikom svih komponenti sustava u glavi možemo krenuti na opis rada kompletnog sustava. Tvrtka Xylon d.o.o razvila je sustav *IP core „logiDROWSINE“*. namijenjen otkrivanju umora vozača automobila temeljeno na njegovim pokretima lica (zijevanje, treptanje, padanje glave, mikrosan i ostali indikatori umora).

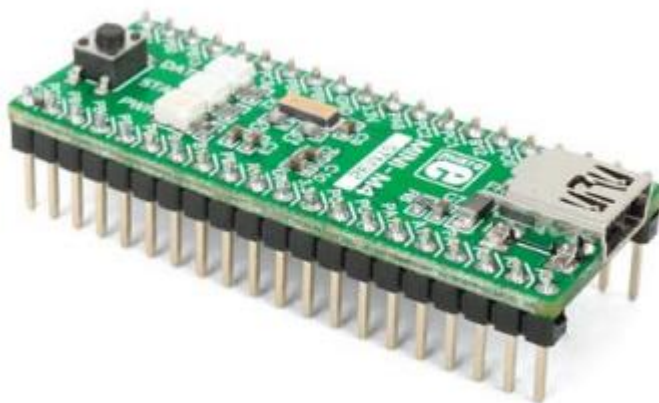
Na temelju ovih značajki sustav dodjeljuje bodove koji govore o težini umora (npr. treptanje ima niži prioritet nego mikrosan) te može dati 7 različitih razina umora kao indikaciju koliko je vozač umoran. Problem s logiDROWSINE-om je taj što se ne zna koliko je on pouzdan, odnosno laički rečeno nije umjeren na razine umora. Kako bi se riješio taj problem pristupilo se snimanju EEG signala vozača prvo u simulatoru vožnje, a zatim i na cesti.

Kako se iz EEG signala mogu dobro vidjeti razine umora ispitanika tako bi se nakon dovoljnog broja mjerenja mogla odrediti referentna točka razine umora po kojoj bi se sustav „umjerio“. Time bi se razine umora koje iz pokreta lica donosi logiDROWSINE i razine umora dobivene na temelju EEG mjerenja mogle referencirati na iste vrijednosti.

3. Razvojno sučelje MINI-M4

„*MINI-M4 for STM32*“ je maleno *ARM® Cortex™-M4* razvojno sučelje koje je upravljano RICS procesorom STM32F415RG. Za razliku od drugih razvojnih sučelja serije STM32 koja su većih dimenzija, *MINI-M4* je napravljeno tako da pristaje u DIL40 kućište što ga čini dobrim odabirom za centralni dio našeg sustava. Ovo razvojno sučelje preprogramirano je *USB HID bootloader-om* što nam omogućuje programiranje procesora na jednostavan način, bez korištenja eksternog programatora.

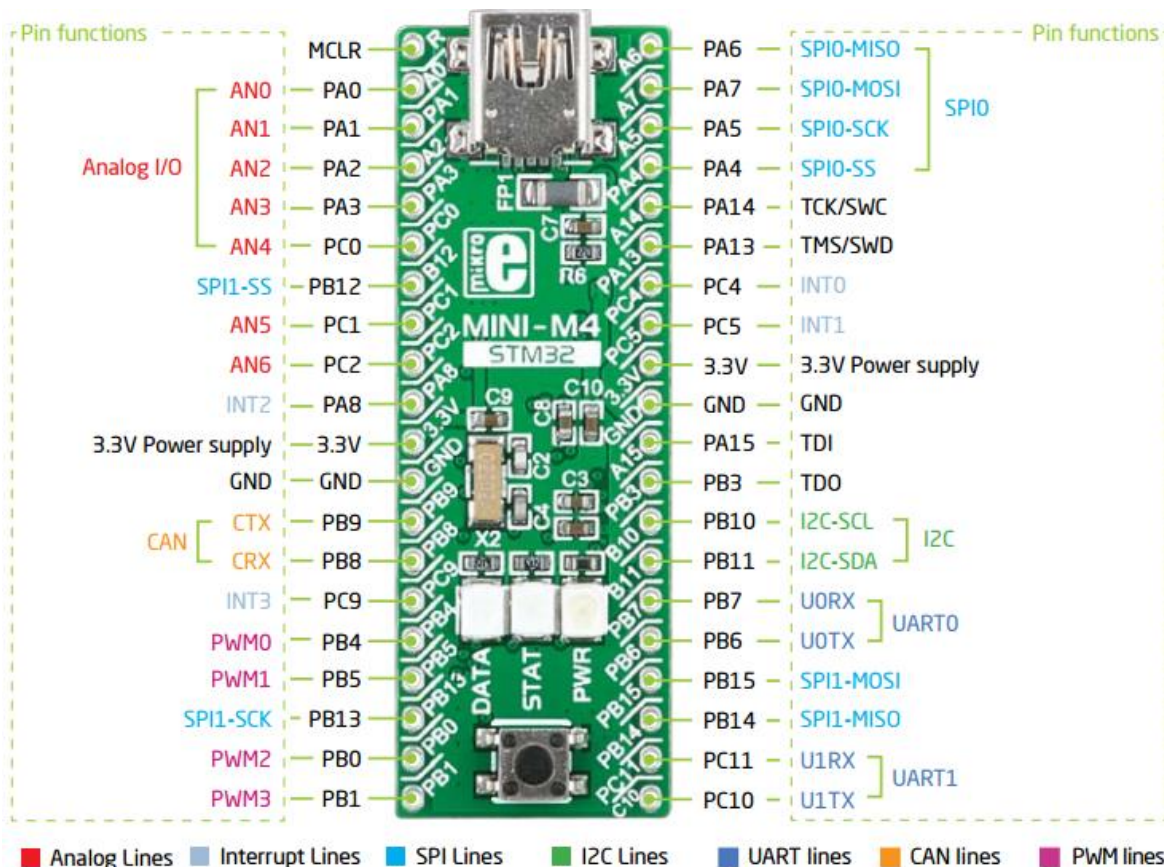
Važnije karakteristike MINI-M4 razvojnog sučelja su: 32 – bitni *ARM Cortex M4* procesor koji podržava operacije s pomičnim zarezom (engl. *floating-point unit*), 1 MB *flash* memorije, 192 KB RAM memorije, 16 MHz SMD kristalni oscilator kojim dobivamo frekvenciju rada procesora od 168 MHz nakon dijeljenja i množenja frekvencije oscilatora. Sučelje sadrži 2 napredna vremenska sklopa i 8 za standardnu upotrebu, *CAN Controller* koji se koristi kod CAN komunikacije i 8 UART sklopova za serijsku komunikaciju. Na pločici se također nalazi tipkalo za ponovo pokretanje (engl. *reset*) sučelja, 3 indikacijske LED diode i mini USB priključak preko kojeg se vrši programiranje. Napon napajanja koje se dovodi preko USB-a iznosi 5 V, no napon napajanja sučelja iznosi 3,3 V. Ta vrijednost se dobije smanjivanjem ulaznog napona pomoću ugrađenog regulatora napona na sučelju.



Slika 2: Razvojno sučelje MINI-M4 for STM32

3.1. Korišteni ulazi i izlazi na razvojnom sučelju

Razvojno sučelje ima 40 pinova koji su namijenjeni za različite svrhe, opis svakog posebno bio bi dug i nepotreban pa će svi pinovi biti prikazani slikom.



Slika 3: Raspored izvoda MINI-M4 sučelja

Od svih izvoda mi koristimo ove: PA0, PA1, PA2, PA3, PA4, PA5, PA6. Njih koristimo kao ulazno/izlazne (I/O) izvode, a ne kao analogne, odnosno SPI izvode kao što je to navedeno na slici (na slici su navedene primarne funkcije pinova, no to ne znači da se oni ne mogu koristiti u druge svrhe).

Izvodi od PA1 do PA5 koriste se za indicaciju umora s 5 tipkala. Svaki od tih izvoda povezan je s jednim tipkalom te ispitanik na zvučni signal pritisne jedno od 5 tipkala koje simbolizira njegovu subjektivnu ocjenu o tome koliko je umoran. Ova provjera vrši se za vrijeme snimanja EEG-a, tj. za vrijeme vožnje u simulatoru svake dvije minute. Dakle PA1: totalno budno stanje, dok je tipka PA5 veoma umorno stanje.

Izvod PA0 povezan je sa senzorom na papučici kočnice koji daje signal o tome kad je osoba nagazila papučicu. Ovaj signal može nam biti koristan jer se on zajedno s EEG signalom i signalima s tipkala sprema u podnaslove logiRECORDER-a te se može vidjeti vrijeme kada je osoba pritisnula kočnicu. Usporedbom tog vremenskog podatka i podatka kad se je ispred njega našla prepreka (npr. nagli prelazak automobila iz susjedne trake) kojeg možemo vidjeti sa video snimke koja snima monitore simulatora dobivamo informaciju u vremenu reakcije vozača. Ta informacija može se dalje koristiti u obradi podataka pošto umornija osoba ima dulje vrijeme reakcije od budne osobe (bar načelno).

Izvod PA6 povezan je s prespojnikom koji može biti postavljen: tada je izvod spojen na masu, ili može biti otvoren: tada pin „visi“ u zraku i nije spojen nikamo. Ovim prespojnikom određujemo funkciju sučelja: dali se ono nalazi na strani EEG pojačala i prima podatke s njega pa ih prosljeđuje na CAN sabirnicu (prespojnik odspojen) ili se nalazi na strani računala pa prima podatke s CAN sabirnice i šalje ih računalu preko serije (prespojnik spojen).

Izvodi PB8 i PB9 koriste se za CAN komunikaciju. O njima nećemo puno pričati jer se CAN komunikacija obrađuje u posebnom poglavlju, no potrebno je napomenuti da je odašiljački (*Tx*) izvod zapravo izvod PB9, a primateljski (*Rx*) izvod zapravo izvod PB8. Ta dva izvoda povezana su s CAN primopredajnikom gdje se obavlja pretvorba iz logičkih razina sa kojima barata *CAN Controller* u one koje se koriste na CAN sabirnici.

Za serijsku komunikaciju na raspolaganju su nam dva para izvoda. Korišteni su izvodi PB6 i PB7. Oni su dalje sabirnicom povezani na priključnicu DB-9 preko opto-izolatora, ili direktno: ovisno koristi li se sučelje na strani EEG pojačala (tada preko opto-izolatora) ili na strani računala (izravno).

Posljednje korišteni izvodi su oni od napajanja: 3,3 V i GND. Njih koristimo za napajanje opto-izolatora na strani mikrokontrolera.

4. Komunikacija sa EEG pojačalom

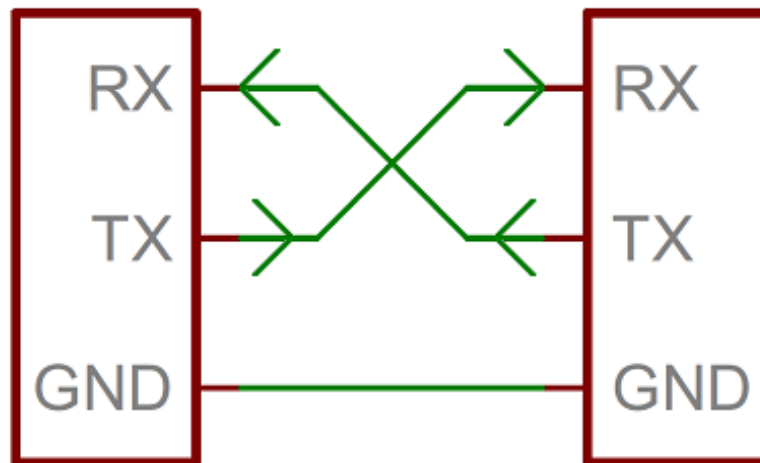
Ovo poglavlje dati će pregled komunikacije između EEG pojačala i sučelja: njen opis te način primanja i slanja poruka. Opisat će se što je to UART, navest će se naredbe koje se šalju EEG pojačalu i oblik poruka koje se dobivaju iz pojačala.

4.1. Serijska komunikacija

Općenito, serijska komunikacija je ona vrsta komunikacije kod koje se podaci šalju slijedno jedan po jedan bit dok se ne prenese cijela poruka putem jednog vodiča. Razlog korištenja serijske komunikacije je taj što ne trebamo veliki snop žica već nam je dovoljna samo jedna žica preko koje prenosimo podatke. Za posljedicu korištenja samo jednog vodiča, brzine prijenosa su smanjene.

Komunikacija koja se odvija između EEG pojačala i sučelja je serijska TTL 3,3 V komunikacija. Ovo znači da je stanje logičke jedinice u visokoj razini (3,3 V), a stanje logičke nule u niskoj (0 V) (za razliku od RS-232 standarda kod kojeg su logička stanja obrnuta, tj. logička jedinica ima negativne vrijednosti napona od -3V do -12V, a logička nula pozitivne vrijednosti od +3 V do +12 V). Naravno, za ove vrijednosti napona postoji tolerancija definirana TTL standardom. Tako se logičkom jedinicom smatra bilo koja vrijednost napona između 2 V i 3,3 V, dok se logičkom nulom smatraju vrijednosti napona od 0 V do 0,8 V. Neutralno stanje (engl. *idle state*) sabirnice je ono visoke razine što je rezultat povijesne ostavštine telegrafa kod kojeg je neutralno stanje bilo takvo da je sabirnica bila pod naponom kako bi se moglo znati da sama linija nije fizički negdje prekinuta.

U istovremenom obostranom (engl. *full duplex*) prijenosu podataka, koji se koristi između EEG pojačala i sučelja, sabirnica se sastoji od dvije žice. Jedna od njih je spojena na strani odašiljatelja na *Tx* izvod, a na strani primatelja na *Rx* izvod, dok je druga na strani odašiljatelja spojena na *Rx* izvod, a na strani primatelja na *Tx* izvod. Vidi se da je sabirnica unakrsno spojena na strani primatelja i odašiljatelja. Uz ova dva vodiča sabirnica sadrži i vodič koji povezuje dva dijela sustava na zajednički potencijal.

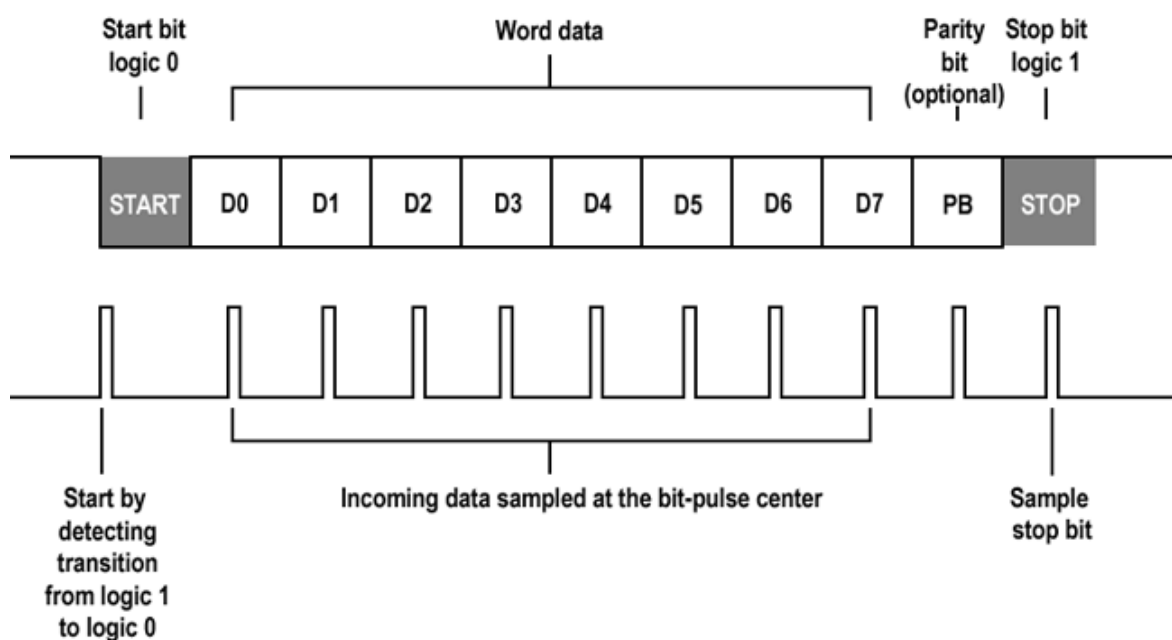


Slika 4: Način spajanja serijske sabirnice

4.1.1. Opis serijske komunikacije

Jedna serijska poruka sastoji se od jednog bajta podataka, odnosno 8 bitova prije kojeg dolazi startni bit. Završni bit dolazi na kraju poruke, a ovisno o odabiru prije završnog može još i doći paritetni bit. To znači da serijska poruka ima ili 10 bitova (ako nema paritetnog bita) ili 11 (ako ga ima). Iako korisnik može odabrati duljinu poruke, tj. bitova podataka od 5 do 8 bitova, razmatrat će se samo slučaj s 8 bitova bez paritetnog bita jer takav slučaj imamo kod oblika podataka iz EEG pojačala.

Sabirnica se nalazi u neutralnom stanju sve dok se ne desi početni (start) bit. Taj bit prepoznamo tako kad se iz neutralnog stanja visoke razine sabirnica povuče u stanje logičke nule. Ovaj bit je znak hardveru da je počeo prijenos nove riječi. Nakon startnog bita dolazi 8 bitova podataka čija vrijednost se očitava na sredini trajanja svakog bita. Da bi se znalo u kojem trenutku se očitava vrijednost hardver treba znati brzinu kojom se prenose podatci, odnosno *baud rate*. Više o ovome biti će rečeno kod opisa UART-a. Kad se učitaju svih 8 bitova podataka, dolazi paritetni bit za kojeg smo rekli da ga ne koristimo pa je on na donjoj slici zapravo višak. Kraj poruke obilježava povratak sabirnice u neutralno stanje.



Slika 5: Primjer serijske poruke koja dolazi na Rx izvod

4.1.2. Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (u nastavku UART) je sklopovski uređaj koji prevodi podatke iz serijske u paralelni način komunikacije i obratno. On se nalazi integriran u mikrokontroleru STM32F415 te je nužan da paralelni oblik poruke s kojim barata procesor prebaci u serijski kad je u pitanju slanje, odnosno serijski tip podatka sa sabirnice u paralelni kada je u pitanju primanje poruka.

UART služi za primanje i slanje poruka preko serijske sabirnice neovisno o procesoru da smanji procesorsko opterećenje. To radi pomoći posmačnog registra koji je osnova pretvorbe između paralelnog i serijskog oblika podataka. Kako bi dva UART uređaja mogla uopće pravilno komunicirati, potrebno je da njihova dva takta budu usklađena. Pošto je nemoguće uskladiti dva oscilatora da osciliraju potpuno istim frekvencijama, dozvoljene su male tolerancije u odstupanju frekvencija. Ovo usklađivanje frekvencija postiže se tako da se svakom UART uređaju isprogramira njegova *baud rate* vrijednost. Time on može pravilno okidati impulse za čitanje kod primanja i u pravilnim razmacima slati bitove kod slanja. *Baud rate* je broj koji nam govori koliko se najviše bitova podataka može prenijeti sabirnicom u jednoj sekundi. Neke od tipičnih vrijednosti *baud rate*-a su: 9600 bps (engl. *bits per second*), 19200 bps, 57600 bps, 115200 bps. *Baud rate* koji se koristi u ovom slučaju iznosi

115200 bps. Čim je *baud rate* veći, tim je tolerancija na pogreške koje se smiju desiti u trajanju bita manja (trajanje bita je vrijeme koje se sabirnica drži u jednoj od logičkih vrijednosti koja predstavlja taj bit). To je logično pošto je vrijeme trajanja jednog bita tim kraće čim se više bitova prenosi u jednoj sekundi. Vrijeme trajanja jednog bita kod vrijednosti *baud rate*-a od 115200 bps iznosi:

$$t_b = \frac{1}{\text{baud rate}} \approx 8,68 \mu\text{s}$$

To znači da će naše UART sklopovlje očitavati vrijednost bita svakih 8,68 μs , uz iznimku početnog bita gdje nakon okidanja UART-a mora proteći 8,68 μs + 4,34 μs (cijela + polovica vrijednosti trajanja bita) do očitavanja vrijednosti prvog bita na polovici njegovog trajanja. Očitavanje vrijednosti bita je prikazano na prethodnoj slici (*Slika 5: Primjer serijske poruke koja dolazi na Rx izvod*). Uz predočene vrijednosti jasno je da taktovi odašiljačkog i prijemnog UART sklopovlja ne moraju biti u potpunosti usklađeni – uzorak bita se ne mora uzeti točno na sredini njegovog vremenskog trajanja. Za vrijednost *baud rate*-a od 115200 bps dozvoljena odstupanja u vremenu trajanja bita su: – 0,7% do 0% kod odašiljanja bitova, – 0,7% znači da slanje bita može kasniti do 0,7% vrijednosti od predviđenog vremena slanja bita, a ne može biti veći od 0% jer bit ne može prethoditi pošto UART ne zna njegovu vrijednost prije nego ju dobije iz posmačnog registra. Kod primanja bit može prethoditi za 0,8% ili kasniti za 0,6% u odnosu na vrijeme predviđenog primanja bita. Kod ovakvih nižih frekvencija reda desetaka ili stotina kHz-a nije teško postići da vrijeme trajanja bita bude unutar granica tolerancije.

Kod slanja UART prvo na sabirnicu stavi vrijednost logičke nule koja označi početak poruke. Zatim uzima bajt podatka te ga pomiče bit po bit. Kako se bitovi pomiču tako se mijenja logičko stanje sabirnice ovisno o tome koja je vrijednost trenutnog bita koji se nalazi na poziciji s najmanjom težinskom vrijednosti. Iz ovoga je vidljivo da će prvi odaslani bit biti onaj s najmanjom težinskom vrijednosti. Nakon što se isprazni posmačni registar UART šalje (ili ne šalje) paritetni bit, te nakon njega stavlja sabirnicu u stanje visoke razine koja predstavlja završetak poruke. Završetak poruke može biti obilježen sa jednim ili dva završna (stop) bita, no kako se kod sučelja koristi jedan stop bit, biti će analiziran taj slučaj. Za vrijeme dok UART šalje poruku, on pomoću zastavice signalizira procesoru da je zauzet. Ovo mehanizam se koristi zato jer je brzina rada procesora puno veća od rada UART-a pa on ima

vremena obavljati druge zadaće. Sve dok UART ne pošalje poruku iz registra, zastavica „*busy*“ je podignuta, nakon slanja procesor u registar može postaviti novi bajt za slanje.

Primanje poruke nešto je složenije. Nakon što UART prilikom osluškivanja sabirnice otkrije da se ona našla u stanju niske razine, te ako vrijednost sabirnice bude u tom stanju bar pola vrijednosti trajanja bita, on počinje sa okidanjem pulseva koji će služiti za očitavanje vrijednosti bita. U protivnom UART ne kreće sa okidanjem jer se stanje sabirnice u logičkoj nuli koje traje kraće od pola vrijednosti trajanja bita smatra rezultatom smetnje. Vrijednost bita se očitava na sredini njegova vremenskog trajanja i nakon što je pročitana prosljeđuje se u posmačni registar. Kada su pročitani svi podatkovni bitovi, UART javlja procesoru da se u njegovom prijemnom registru nalazi podatak. Da bi zadržali stabilnost u vremenu očitavanja bitova, tj. kako bi radni taktovi UART-a na oba dvije strane ostali usklađeni, brojanje počinje iznova svaki put kada dobijemo startni bit (signal takta se re-sinkronizira). Sad se vidi postojanje mogućnosti da početni bit upadne točno nakon što je očitano stanje sa sabirnice i UART ga ne bi registrirao kada bi njegov radni takt bio podešen samo na vrijednost *baud rate-a* (brzina takta impulsa koji čitaju podatak). Ovaj problem rješava se tako da je operacijski signal takta koji upravlja UART-om 8 puta veći od *baud rate-a*. Ovime smo dobili mogućnost očitavanja startnog bit bez problema i re-sinkronizacije takta impulsa za čitanje.

UART ima još jednu pogodnost, a to je da otkrije da li je sabirnica slučajno prekinuta. Pošto u svakoj poruci (i onoj kad se dobije 8 nula) mora postojati barem jedan padajući (startni bit) i jedan rastući (stop bit) brid, sklopovlje provjerava da vrijeme koje je prošlo od startnog bita, do završnog bita nije veće od vremena trajanja potrebnog da primimo poruku. Ako nakon tog vremena sabirnica i dalje ostane u razini logičke nule, UART javlja procesoru da je došlo do prekida sabirnice, tzv. „*break condition*“.

Procesor korišten u sučelju (STM32F415RG) ima 8 UART uređaja integrirana u čip u kojem se nalazi. Iako ih ima osam, izvodi su povučeni za samo dva što je vidljivo na priloženoj slici sa izvodima pinova razvojnog sučelja (*Slika 3: Raspored izvoda MINI-M4 sučelja*).

4.2. Oblik podataka iz EEG pojačala

Podatci koje EEG pojačalo šalje putem serijske veze sastoje se od 25 bajtova. Početak svake poruke započinje sinkronizacijskim bajtom „0xC0“ („0x“ označava heksadecimalni broj). Nakon njega slijede bajtovi koji sadrže podatke o kanalima. Pojačalo ima 8 kanala i svaki od njih je opisan sa 3 bajta podataka što znači da imamo 24 bajta sa podacima. Tablica prikazuje oblik poruke i njezin primjer.

Tablica 1: Oblik poruke EEG pojačala

SYNC	CHANNEL 1			CHANNEL 2			CHANNEL 3			CHANNEL 8		
	MSB	LSB		MSB	LSB		MSB	LSB		MSB	LSB	
C0	C6	27	91	52	14	EF	A6	DC	7E	45	68	97

Podatak o bilo kojem od kanala je zapravo kvantizacijska razina dodijeljena uzorku u tom trenutku. Kvantizator u pojačalu je 24 - bitni što znači da je njegova rezolucija 24 bita te je najmanja razlika napona (kvantizacijski korak q) koju pojačalo može izmjeriti:

$$q = \frac{U_{REF}}{2^{24}} = \frac{4,5 V}{2^{24}} \approx 0,268 \mu V$$

Kvantizacijske razine koje pojačalo može dodijeliti jednom od uzorka kreću se u rasponu od 0x800000 do 0xFFFFFFFF za negativne vrijednosti, odnosno od 0 do 0x7FFFFFFF za pozitivne vrijednosti. Podatak je u obliku dvojnog komplementa, takav da se bit najvećeg značaja nalazi na prvom mjestu (engl. *MSB first*). Ovo znači da bit najmanjeg značaja (LSB) predstavlja izmjerenu fizičku vrijednost od: $U_{REF} / (2^{23} - 1)$. U_{REF} je unutarnji referentni napon EEG pojačala koji je najveća vrijednost koju pojačalo može izmjeriti, tj. najveća vrijednost ulaznog napona kojoj kvantizator može pridijeliti neku vrijednost i on iznosi 4,5 V. Sljedeća tablica prikazuje idealne oblike izlaznih podataka s obzirom na vrijednost napona koju predstavljaju (napon koji se mjeri na elektrodama).

Tablica 2: Idealni izlazni kod s obzirom na ulazni signal

Ulazni signal	Idealni kod
$\geq U_{REF}$	0x7FFFFFFF
$+ U_{REF} / (2^{23} - 1)$	0x000001
0	0x000000
$- U_{REF} / (2^{23} - 1)$	0xFFFFFFFF
$- U_{REF} * (2^{23} / 2^{23} - 1)$	0x800000

Frekvencija uzorkovanja pojačala iznosi 250 Hz, a to znači da ćemo u jednoj sekundi dobiti 250 poruka duljine 25 bajtova + 50 bitova (25 podatkovnih bajtova + 25 startnih bitova + 25 stop bitova). Ukupan broj prenesenih bitova u jednoj sekundi iznosi umnošku broja poruka i duljini pojedinačne poruke:

$$250 \text{ poruka} * (25 \text{ bajtova} * 8 \text{ bita} + 50 \text{ bitova}) = 62\,500 \text{ bps}$$

Ukupno vrijeme trajanja prijenosa jedne poruke iznosi:

$$t_{poruke} = \text{broj bitova u poruci} * t_b = 250 \text{ bitova} * 8,68 \mu s \approx 2,17 \text{ ms}$$

Kako je brzina prijenosa serijskih poruka 115200 bps, sabirnica će biti zauzeta $62\,500 / 115\,200 = 54,25\%$, odnosno 542,5 ms u vremenskom rasponu od jedne sekunde.

4.3. Naredbe za EEG pojačalo

Naredbe koje se šalju EEG pojačalu omogućuju nam upravljanje pojačalom: podešavanje njegovih parametara te pokretanje i zaustavljanje slanja podataka.

Prije početka rada sa pojačalom, potrebno je u njega poslati naredbe koje će podesiti njegove postavke. Te naredbe unutar EEG pojačala podese sljedeće stvari:

- PGA pojačanje pojačala se postavlja u 24 (naredba 0x07)
- Za ulaz u pojačalo se odaberu elektrode (naredba 0x0E)
- Za testni signal se postavi interni signal pojačala (naredba 0xA6)
- Podesi se amplituda internog testnog signala da ona bude pojačana jedan puta (naredba 0xA7)
- Podesi se frekvencija internog testnog signala na 1 Hz (naredba 0xA9)
- Uključi se *buffer* reference (naredba 0xAD)
- Za BIAS referencu se uzima unutarnja vrijednost reference (naredba 0xAF)

- Uključi se BIAS *buffer* (naredba 0xB1)
- Uključe se BIAS sklopke za sve kanale (naredbe 0x13, 0x15, 0x17, 0x19, 0x1B, 0x1D, 0x1F, 0x21)

Postoje još dvije naredbe koje se često koriste a to su:

- Pokreni kontinuirani prijenos podataka (naredba 0x10)
- Zaustavi kontinuirani prijenos podataka (naredba 0x11)

Ove naredbe će biti opisane u kasnijim poglavljima, te su u programskoj podršci korištene u funkcijama „InitCONFIG2 ();“, „InitCONFIG3 ();“, „InitSettingsADS ();“ (pogledati: 6.1. *Pregled funkcija programske podrške*).

Za detaljan opis i pregled upravljanja EEG pojačalom pogledati diplomski rad autora Marka Medveda „Mjerni sustav za sučelje između mozga i računala“.

5. Komunikacija s logiRECORDER-om

Komunikacija s logiRECORDER-om je ostvarena pomoću serijske *Controller Area Network* komunikacije. Da bi se razumio proces ovakve komunikacije ovo poglavlje prvo će dati pregled nad njezinim karakteristikama, a zatim će se opisati formati korištenih poruka.

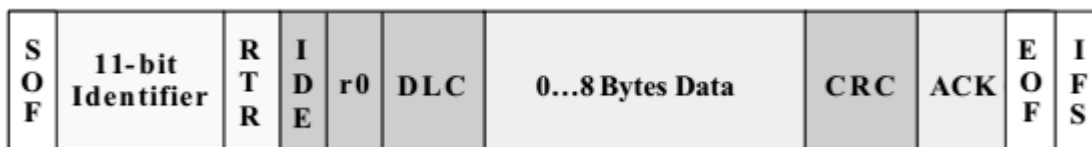
5.1. Controller Area Network (CAN)

Poput već spomenute TTL serijske veze između EEG pojačala i sučelja, CAN komunikacija je dvosmjerna. Razlika je u tome što CAN nije istodobno obosmjernan (engl. *full-duplex*), nego je obosmjernan neistodobno (engl. *half-duplex*). To zapravo znači da se istovremeno ne mogu preko sabirnice i slati i primiti podatci, nego se ili šalju, ili primaju naizmjenice.

CAN je razvijen od strane *Bosch-a* s idejom da više uređaja spojena na sabirnicu dijele ulogu odašiljatelja (engl. *multi-master*) preko koje se šalju kratke poruke sa maksimalnom brzinom prijenosa od 1 Mbps. Za razliku od uobičajenih vrsta prijenosa podataka (poput Ethernet-a) CAN ne šalje pakete određenom čvoru, paketi se šalju svim čvorovima na sabirnici te oni svi istovremeno „slušaju“.

5.1.1. „Standard CAN“ standard

CAN standard je definiran kako bi se standardizirala serijska komunikacija između CAN čvorova. Prvenstveno je ovaj standard stvoren zbog primjene u auto-industriji kako bi se izbjegle kompleksne instalacije i mnoštvo sabirnica. Postoje dva standarda koja definiraju oblik CAN poruke: standardni i produženi (engl. *extended*) CAN standard. Razlika je u tome što standardni koristi 11 bitova za definiranje identifikatora poruke, dok ih produženi koristi 29. U ovom tekstu fokus će biti na onaj standardni (koji se i koristi). Na sljedećoj slici prikazana je uobičajena CAN poruka duljine 128 bita.



Slika 6: Standardna CAN poruka

Slijedi opis pojedinih dijelova poruke:

- SOF (*start of frame*) – bit koji označava početak poruke te služi kako bi se svi čvorovi na CAN sabirnici re-sinkronizirali nakon što je sabirnica bila u recesivnom stanju. Slična stvar objašnjena je u poglavlju 4.1.2. *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*
- Identifikator – 11 bitni identifikator koji označava prioritet poruke: niža binarna vrijednost predstavlja veći prioritet (zbog arbitracije).
- RTR (*Remote Transmission Request*) – bit koji označava da čvor kojemu je poruka namijenjena zahtjeva informaciju od nekog drugog čvora. RTR bit se postavi kada je informacija potrebna sa drugog čvora. Svi čvorovi pročitaju da je RTR bit postavljen, no samo onaj čvor čija adresa se nalazi u polju za identifikator odgovara i šalje poruku. Svi čvorovi također mogu čitati ovu poruku, ali ju koristi samo čvor koji je dao RTR zahtjev.
- IDE (*Identifier Extension*) – bit označava šalje li se standardna ili produžena CAN poruka. Za standardnu poruku ovaj bit mora biti u dominantnom stanju.
- r0 – rezervirani bit (za moguću upotrebu u budućim verzijama standarda).
- DLC (*Data Length Code*) – 4-bitni podatak koji govori koliko bajtova će sadržavati podatkovni dio poruke.
- Data – do 64 bita (8 bajta) podataka koji se prenosi u poruci.
- CRC (*Cyclic Redundancy Check*) – 16-bitni podatak koji sadrži broj svih prenesenih podatkovnih bitova u prethodnoj poruci koji koristimo za detekciju pogrešaka.
- ACK (*Acknowledge*) – bit kojega svaki čvor koji primi ispravnu poruku postavi u dominantno stanje (odašiljački čvor drži ovaj bit u recesivnom stanju). Ako odredišni čvor ostavi ovaj bit u recesivnom stanju to znači da je došlo do greške te odašiljački čvor ponovi slanje poruke nakon re-arbitracije. ACK polje se zapravo sastoji od 2 bita, prvi koji nosi podataka je bi primljena ispravna poruka, dok je drugi bit graničnik (delimiter) te je on uvijek u dominantnom stanju.
- EOF (*End Of Frame*) – 7-bitni dio CAN poruke koji označava njezin kraj
- IFS (*Inter Frame Space*) – 7-bitni podatak koji sadrži informaciju koliko vremena treba hardveru CAN-a da ispravno primljeni podatak premjesti u spremnik (*buffer*) za dolazne poruke.

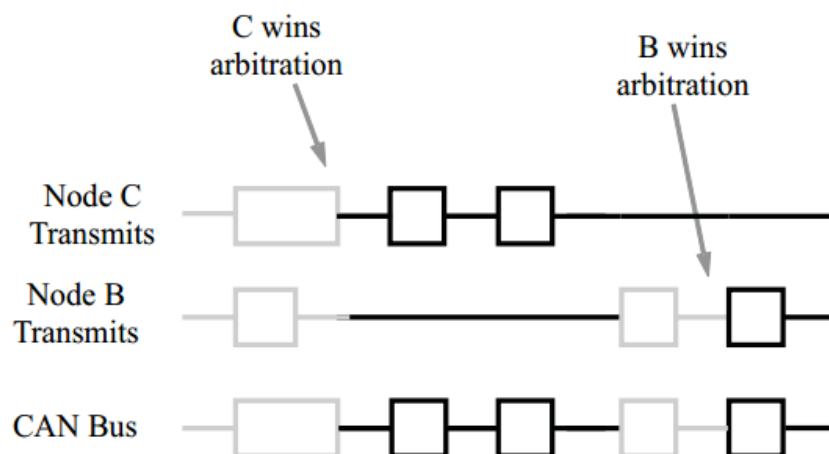
5.1.2. Arbitracija i logička stanja na CAN sabirnici

Jedna od posebnosti CAN komunikacije je svojstvo arbitracije. Arbitracija je proces kojim CAN čvorovi odrede kojemu od njih je namijenjena poruka. Kada jedan od čvorova šalje, drugi su toga svjesni te ne pokušavaju poslati poruku sve dok god taj čvor šalje. Ako se pak desi da dva čvora počnu slati poruku u istom trenutku ne dolazi do nikakvog gubitka podataka, oba dva čvora nastave slati bitove te ovdje dolazimo do koraka arbitracije.

Uobičajeno je da je logičko stanje prikazano tako da visoka ili niska naponska razina na sabirnici predstavlja logičku vrijednost. CAN sabirnicu obilježava to da se sastoji od dvije linije koje se nazivaju „CANH“ i „CANL“. Recesivno stanje sabirnice je kad su stanja na oba dvije linije na istoj naponskoj razini te ovo stanje predstavlja logičku jedinicu (recesivno stanje). Logička nula (dominantno stanje) na CAN sabirnici predstavlja se tako da „CANL“ linija otiđe u naponsko stanje veoma blizu 0, a „CANH“ linija otiđe u naponsko stanje blizu napona napajanja.

Dok oba dva čvora (ili više njih) istovremeno šalju podatke prvi na redu za slanje su identifikacijski bitovi. Spomenuto je da viši prioritet ima onaj čvor čiji je identifikator niži binarni broj. U fizičkom svijetu na sabirnici to znači da će čvor kojemu je pridružen niži identifikacijski (u nastavku ID) broj držati sabirnicu u aktivnom stanju dulje. Kada jedan od čvorova s višim identifikacijskim brojem otpusti sabirnicu u recesivno stanje (u ID-u se pojavi bit sa vrijednosti „1“) ali i dalje vidi da se sabirnica nalazi u aktivnom stanju, on shvaća da postoji čvor s većim prioritetom koji želi slati poruku sabirnicom i jednostavno prekida daljnje slanje poruke te čeka da se sabirnica ponovo oslobodi.

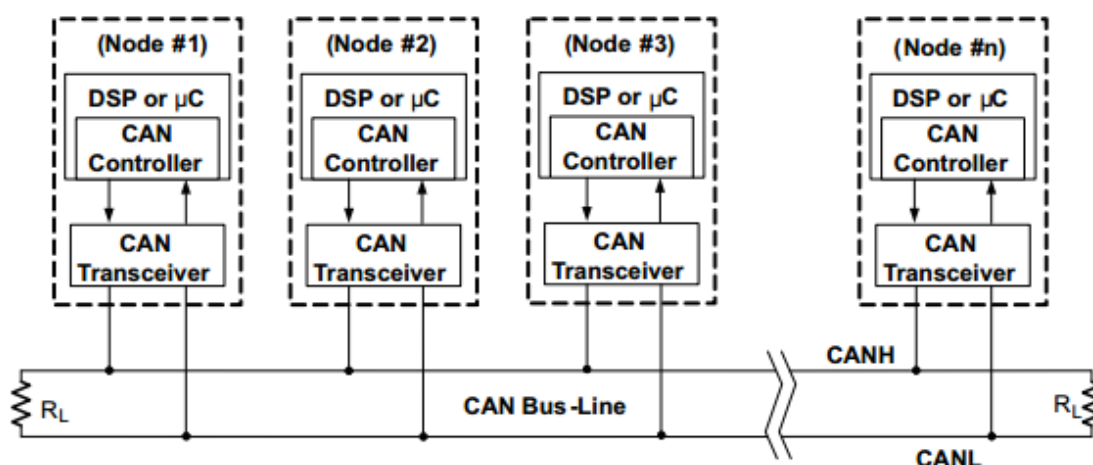
Slika 7: Primjer arbitracije na sabirnici daje vizualnu predodžbu procesa arbitracije na sabirnici kada dva čvora istovremeno pokušaju slati poruke. Recesivno stanje predstavljeno je jednom crtom – recesivnom vrijednosti napona („CANH“ i „CANL“ su iste razine). Dominantno stanje je predstavljeno „pravokutnicima“, odnosno time da vrijednosti na linijama postanu komplementarne u odnosu na srednju, recesivnu vrijednost.



Slika 7: Primjer arbitracije na sabirnici

5.1.3. CAN sabirnica

CAN sabirnica sastoji se od dvije upletene žice (parice) i njezina duljina ovisi o brzini prijenosa podataka. Za brzinu prijenosa od 500 kbps duljina sabirnice može biti do 100 m. Sabirnica zbog linijskih pojava mora biti zaključana na početku i na kraju otpornicima vrijednosti 120 Ω . Komplementarnost napona na sabirnici zahtijeva upotrebu primopredajnika (engl. *transciever-a*) na obje strane (odašiljačkoj i primateljskoj). Oni transformiraju procesorske TTL standardne logičke razine (također razine korištene od strane *CAN Controller-a* – hardverskog uređaja koji upravlja CAN-om, sličnom UART-u) u one korištene u CAN komunikaciji. Pogledati: 8.2.2. *CAN primopredajnik VP230*.



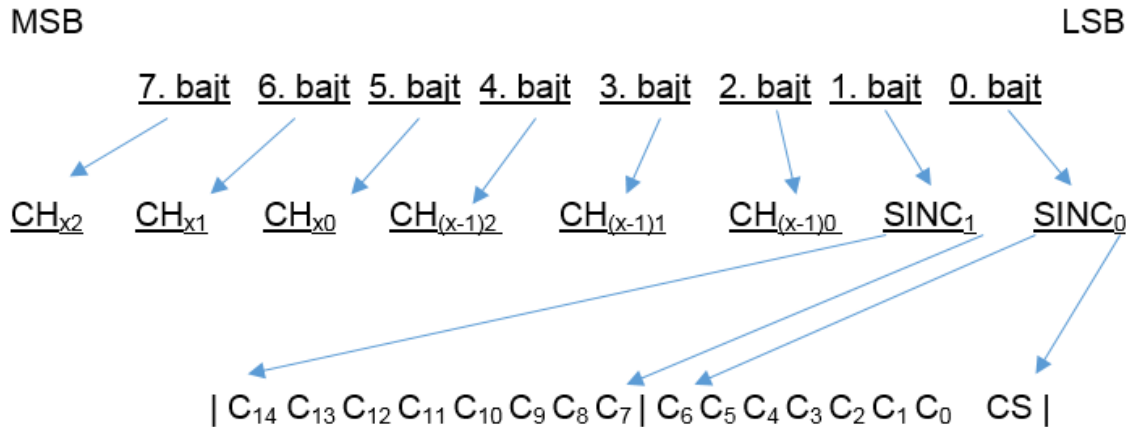
Slika 8: Tipična CAN sabirnica sa čvorovima

5.2. Komunikacija od sučelja prema logiRECORDER-u

Podatci koje je EEG pojačalo poslalo prema sučelju nakon preslagivanja bajtova u sučelju šalju se dalje prema logiRECORDER-u. Pošto jedna CAN poruka može prenijeti samo 8 bajtova podataka potrebno je razdvojiti primljenu poruku u sučelju na 4 dijela. Oblik poruke koji je odabran je ovaj: u jednoj CAN poruci pošalju se podaci sa 2 kanala EEG-a. Podaci o ta dva kanala zauzimaju 6 bajtova te u podatkovnom dijelu CAN poruke ostaje mjesta za još 2 bajta. Ta dva bajta, odnosno tih 16 bitova, koriste se na sljedeći način: prvih 15 bitova se koristi kao podatak o stanju varijable brojila koji uzlazno broji broj poslanih poruka. Četiri poruke imaju isto stanje brojila pošto te 4 CAN poruke sadrže informaciju o jednom uzorku s EEG pojačala. Brojilo sadrži podatak o rednom broju uzorka koji se šalje. Odmah je vidljivo da veličina brojila od 15 bitova nije velika ($2^{15} - 1 = 32767$) i uz 250 uzoraka po sekundi ovo brojilo doživjeti će preljev za 2 minute i 11 sekundi ($32767 / 250 = 131,028$ sekundi) no to nije bitno jer se brojač koristi samo za nadzor da su sve CAN poruke isporučene. Kad bi se u primljenoj poruci preskočila vrijednost brojila koja se očekuje znali bismo da je izgubljen paket (ili više njih, ovisno o stanju brojila).

Posljednji bit se koristi za označavanje da li poruka dolazi sa EEG pojačala ili se u njoj nalaze podaci o pritisnutoj tipki koja nosi subjektivni podatak o tome koliko je ispitanik umoran, odnosno podatak o vremenu pritiska kočnice. Bit „0“ predstavlja poruku koja nosi EEG podatka, dok bit „1“ znači da poruka nosi podatak o pritisnutoj tipki, odnosno nagaženoj papučici kočnice. Gore spomenuto brojilo nam je korisno za sinkronizaciju ovih podataka zajedno sa primljenim EEG podacima, tako da se u rekonstrukciji signala može vidjeti izgled EEG valova u trenutku kočenja, te uspoređivati subjektivnu ocjenu o umoru s onom dobivenom analizom EEG signala.

Prikaz podatkovnog dijela CAN poruke u slikovitom obliku vidljiv je na dolje prikazanoj slici (*Slika 9: Format podatkovnog dijela CAN poruke poslano logiRECORDER-u*). Nakon njega vidljiv je primjer podataka sa sabirnice ako se šalje EEG podatak i ako se šalje podatak s jednog od tipkala (*Slika 10: Primjer triju CAN poruka*).



Slika 9: Format podatkovnog dijela CAN poruke poslana logiRECORDER-u

Pri čemu je:

- CH – oznaka kanala kojega predstavlja određeni bajt
- SINC – bajtovi koji sadrže stanje brojila i identifikacijski bit
- C – vrijednost pojedinog bita brojila
- CS – identifikacijski bit

Na sljedećoj slici oblik podataka je takav da prvi stupac pokazuje vrijeme primitka poruke. Drugih 8 stupaca prikazuje vrijednosti bajtova od najmanje značajnog do najznačajnijeg. Prva dva stupca prikazuju $SINC_0$ i $SINC_1$ bajtove. Sljedeća tri stupca prvog reda prikazuju prvi kanal (podaci :0x90 0x7C 0x94). Zadnja tri bajta sadrže podatke o drugom kanalu. Drugi redak sadrži treći i četvrti kanal itd. Peti redak sadrži sve iste bajtove (osim dva najniža bajta) te prenosi informaciju da je pritisnuta treća tipka. Nakon nje dolazi opet podatak o jednom uzorku s EEG pojačala. Korisno je primijetiti da su sve poruke koje dolaze sa EEG pojačala parnog najnižeg bajta (rezultat identifikacijskog bita jednakog nuli), dok su poruke o tipkama i kočnici neparnog najnižeg bajta. Prihvat podataka s CAN sabirnice realiziran je pomoću CAN / USB adaptera i programa PCAN-View.

16484.262	1A 11 90 7C 94 F8 2B 72
16484.490	1A 11 4F 4C BD D6 1E D3
16484.724	1A 11 31 E6 D9 55 81 9F
16484.955	1A 11 58 34 5B 4F 64 A7
16485.197	1B 11 03 03 03 03 03 03
16488.257	1C 11 90 85 3E F8 2D CF
16488.491	1C 11 4F 44 77 D6 28 5F
16488.723	1C 11 31 DE 97 55 79 19
16488.959	1C 11 58 2B A0 4F 5B C6

Slika 10: Primjer triju CAN poruka

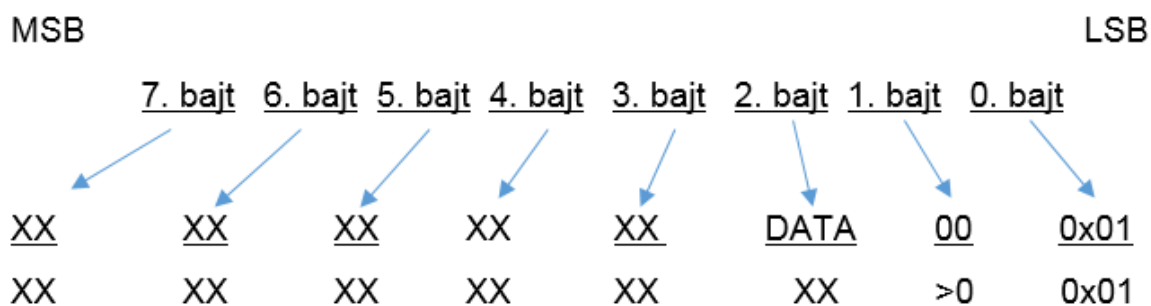
5.3. Komunikacija od logiRECORDER-a prema sučelju

Poruke koje se šalju od logiRECORDER-a prema sučelju (ili od drugog sučelja prema trenutno promatranom) su ili pojedinačne naredbe za ADS1299 (2.1.1. *EEG pojačalo ADS1299*) koje sučelje prosljeđuje prema EEG pojačalu ili jedna naredba koja daje sučelju informaciji da inicijalizira ADS1299 u postavke koje nam trebaju za mjerenje (4.3. *Naredbe za EEG pojačalo*).

Bajt sa najnižom brojanom vrijednosti (nulta pozicija) mora biti postavljen u vrijednost „0x01“. To je podatak sučelju da dolazi CAN poruka sa naredbama koje treba proslijediti. Ukoliko je bajt na prvoj poziciji jednak nuli (0x00), sučelje samo prosljeđuje podatak koji se nalazi na drugoj brojevnoj poziciji. Dakle, podatak koji želimo poslati EEG pojačalu stavljamo na drugu brojevu poziciju. Ostatak brojevniha pozicija (bajtovi 3 do 7) mogu biti ispunjeni bilo kakvim podacima – sučelje ih ignorira i proslijedi samo bajt na drugoj poziciji.

Ukoliko je poslan nulti bajt „0x01“ i bajt na prvoj poziciji je bilo koje druge vrijednosti osim nule to je naredba sučelju da uđe u funkcije „InitCONFIG2()“, „InitCONFIG3()“, „InitSettingsADS()“ te tako postavi ADS1299 u početne postavke. Ostatak bajtova u poruci se u ovom slučaju ignorira.

U prvom redu dolje prikazane slike vidimo oblik poruke ako želimo prosljeđivati pojedinačne naredbe za EEG pojačalo. Drugi red prikazuje drugu opisanu opciju, pri čemu bajt na prvoj brojevnoj poziciji može sadržavati bilo koju od vrijednosti 0x01 – 0xFF.



Slika 11: Oblik CAN poruke poslane prema sučelju

5.4. Svojstva korištenog CAN protokola

Nakon upoznavanja s CAN protokolom, može se navesti par stvari koje detaljnije opisuju poruke korištene u slučaju sučelje - logiRECORDER. Već spomenuti *baud rate* (pogledati: 4.2. *Oblik podataka iz EEG pojačala*) iznosi 500 kbps. *Baud rate* CAN poruka je veći od onog za serijsku komunikaciju (115200 bps). Razlog tome je to što jedna CAN poruka prenosi 8 bajtova podataka, dok je cijela poruka duga 16 bajtova. Također je spomenuto da za prijenos podataka o jednom uzorku sa svih 8 kanala trebamo 4 CAN poruke. Imajući na umu ove podatke dobiva se da je potrebna brzina prijenosa:

$$R_{min} = 128 \text{ bita} * 4 \text{ poruke} * 250 \frac{\text{poruka}}{s} = 128\,000 \text{ bps} ,$$

odnosno vrijeme trajanje jednog bita poruke, i ukupno vrijeme potrebno za prijenos 4 poruke (informacije o jednom uzorku) iznosi:

$$t_b = \frac{1}{R} = \frac{1}{500 \text{ kbps}} = 2 \mu s ,$$

$$t_{4 \text{ poruke}} = 128 \text{ bita} * 4 \text{ poruke} * 2 \mu s = 1,024 \text{ ms}$$

Iako bi i neka manja vrijednost *baud rate*-a od one korištene bila dovoljna za prijenos, korištena je vrijednost od 500 kbps iz razloga ako se u sučelju nagomilaju poruke u pripremi za slanje (u slučaju da je logiRECORDER zauzet ili je sabirnica zauzeta od strane drugog čvora) pa se onda više poruka može poslati uzastopno. Kako za slanje 250 uzoraka trebamo:

$$t_{250 \text{ uzoraka}} = t_{4 \text{ poruke}} * 250 = 256 \text{ ms} ,$$

u jednoj sekundi možemo poslati 12 poruka, odnosno podatke o 3 uzorka. Identifikator sučelja koji se koristi je heksadecimalni broj 0x100.

5.5. Mogućnost dodavanja dodatnog CAN čvora

Drugi CAN čvor je zapravo drugo sučelje. To sučelje prihvaća CAN poruke te ih nakon obrade preko TTL serijske veze šalje osobnom računalu na kojem se u realnom vremenu vrši pregled nad EEG signalima (za pregled se koristi program LabView i programska podrška razvijena od strane Marka Medveda – pogledati njegov već spomenuti rad). Prespojnik kojim se određuje je li sučelje na strani EEG pojačala ili je na strani računala u ovom slučaju mora biti spojen – pin PA6 je spojen na masu (pogledati: *3.1. Korišteni ulazi i izlazi na razvojnom sučelju*).

Kada sučelje radi u ovom načinu rada, ulazne poruke podataka u njega su CAN poruke koje dobiva s drugog sučelja. Prihvaćaju se samo poruke s najnižim bitom postavljenim u „0“, odnosno poruke koje sadrže podatke s EEG pojačala. Sučelje ignorira poruke s podacima o tipkalima i kočnici jer one nisu potrebne računalu. Proces kojim se podaci obrađuju je suprotan od onoga prvog sučelja. Prvo se čeka da se prime 4 CAN poruke, zatim se iz njih izdvoje bajtovi s podacima, spoje u jednu poruku od 24 bajta na koju se doda sinkronizacijski bajt „0xC0“ (kako bi simulirali format podatka koji dolazi iz EEG pojačala). Nakon spajanja takav podatak se preko serijske sabirnice šalje prema računalu. CAN / UART sučelje je prikazano na slici sheme sustava kao narančasti blok (*Slika 1. Blok shema sustava*).

6. Programska podrška za mikrokontroler

Programska podrška pisana je u jeziku C i napravljena je pomoću programa „Atollic TrueSTUDIO for ARM“. Iz njega je generirana .hex datoteka koja se pomoću programa „mikroBootloader USB HID“, koji je napravljen za slanje .hex datoteka specifično STM32F4 MINI razvojnom sučelju, poslana u mikrokontroler. Mikrokontroler je preprogramiran s *bootloader-om* što mu omogućuje direktno prihvatanje .hex datoteke i samo-programiranje.

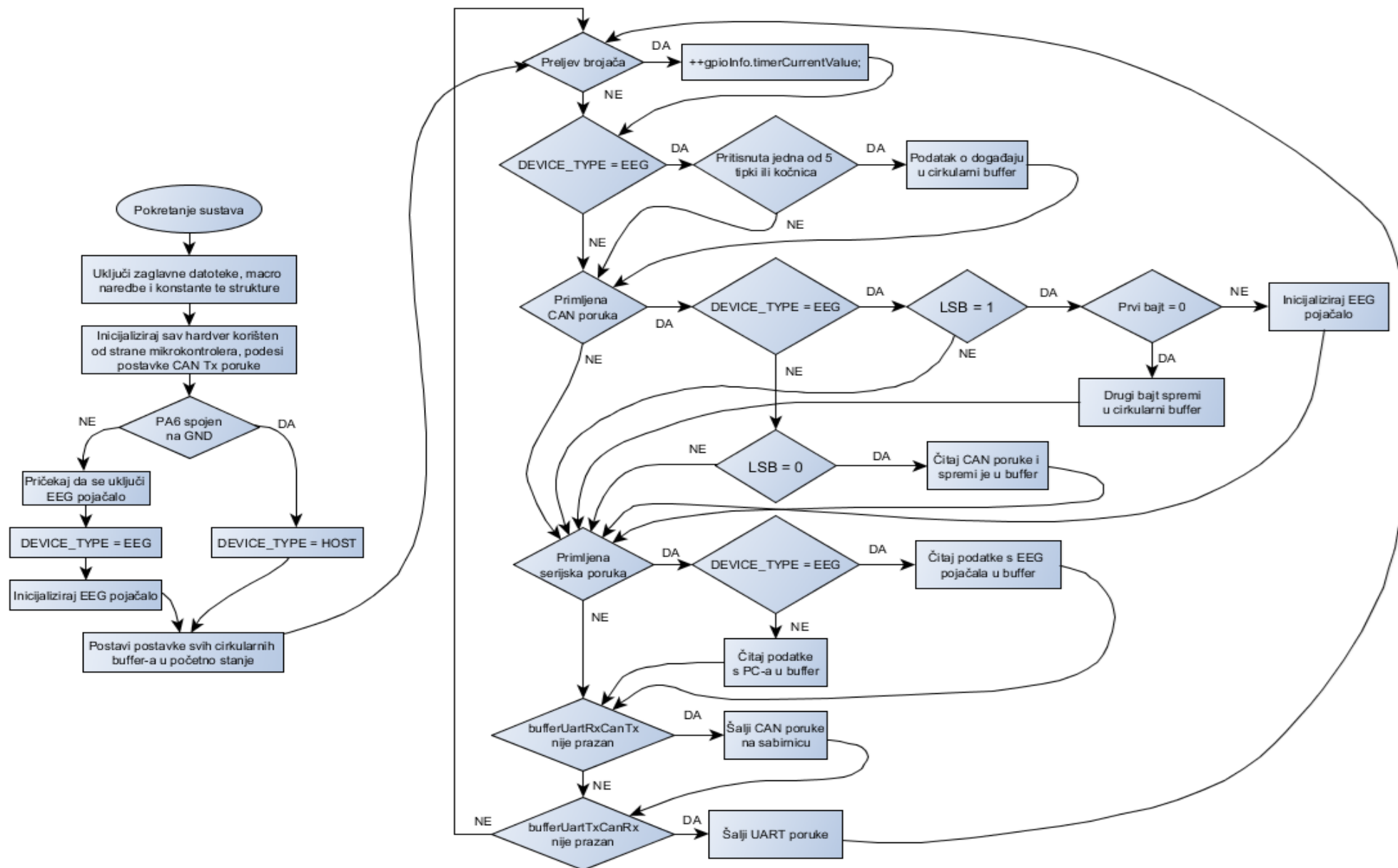
Ukratko, programska podrška omogućava sve dosad navedene radnje, prihvatanje CAN i UART poruka, njihovu obradu te slanje. Nadalje, omogućava čitanje stanja s 6 U/I izvoda, njihovu softversku rutinu istitravanja i slanje odgovarajućih podataka o njihovom pritisku u već opisanom obliku.

6.1. Pregled funkcija programske podrške

Tablica 3: Funkcije programske podrške sadrži funkcije korištene u programskoj podršci. Za funkcije koje podešavaju postavke sklopa ADS1299 pogledati popis naredaba: 4.3. Naredbe za EEG pojačalo. Blok dijagram programske podrške nalazi se na sljedećoj strani (Slika 12: Blok dijagram programske podrške)

Tablica 3: Funkcije programske podrške

Naziv funkcije	Opis funkcije
void CANConfig (void);	Inicijalizacija CAN hardvera i podešavanje njegovih parametara
void InitUSART (uint32_t baudrate);	Inicijalizacija UART hardvera i podešavanje njegovih parametara
void InitLED (void);	Inicijalizacija izvoda za LED diode
void InitTimer (void);	Inicijalizacija i podešavanje vremenskog sklopa
void InitCONFIG2 (void);	Podešavanje postavki CONFIG2 registra unutar ADS1299 – naredbe: „0xA6“, „0xA7“, „0xA9“
void InitCONFIG2 (void);	Podešavanje postavki CONFIG2 registra – naredbe: „0xAD“, „0xAF“, „0xB1“
void InitSettingsADS (void);	Ostale postavke: uključi BIAS sklopke i pošalji naredbe „0x0E“, „0x03“, „0x05“, „0x07“
void ConfigurePAN (void);	Inicijalizacija i podešavanje postavki hardvera za U/I izvode



Slika 12: Blok dijagram programske podrške

6.2. Strukture korištene u programskoj podršci

U programskoj podršci koriste se 3 strukture koje su ključne za njezin rad. Dvije od toga su korištene za cirkularno polje (engl. *circular buffer*) koje se koristi kako bi se u njega spremale primljene poruke. Cirkularno polje koristi se iz razloga kako ne bi došlo do gubitka podataka. Već je naveden primjer s CAN porukama gdje je sabirnica zauzeta pa se poruka ne može poslati odmah.

Ako dođe do takve situacije, a na ulazu u sučelju se nađu novi podaci, jednostavno se čitaju ti podaci i spremaju na sljedeću poziciju u polju. Dok se sabirnica za slanje konačno oslobodi šalju se sve poruke koje se nalaze u polju u pripremi. Koriste se 2 cirkularna polja: strukture naziva: „*bufferUartRxCanTx*“ i „*bufferUartTCanRx*“, oba dvije tipa *CircBufferT*. Kako im i sama imena govore, jedno od njih koristi se za spremanje primljenih serijskih poruka, a drugo za spremanje primljenih CAN poruka.

```
typedef struct
{
    uint8_t      hdr;
    uint8_t      data[MSG_LENGTH];
    unsigned int numOfBytes;
    unsigned int currPos;
}MessageT;

typedef struct
{
    MessageT      msg[NUM_OF_MSGS];
    unsigned int  head;
    unsigned int  tail;
    unsigned int  maxLen;
}CircBufferT;
```

Slika 13: Strukture korištene za cirkularna polja

Sljedeća korištena struktura koristi se za rutinu istitravanja (engl. *debouncing routine*) tipkala. Ona sadrži podatke o tome koje tipkalo je pritisnuto, koliko je vremena prošlo od pritiska, trenutnu vrijednost varijable brojila i informaciju je li tipkalo stvarno pritisnuto ili je u procesu mehaničko istitravanje tipkala.

```
typedef struct
{
    unsigned int timerValue[NUM_OF_GPIO];
    unsigned int timerCurrentValue;
    unsigned int gpioSet[NUM_OF_GPIO];
    unsigned int reallyPressed;
}GpioInfoT;
```

Slika 14: Struktura korištena za provedbu rutine istitravanja

6.3. Opis programske podrške

Ovo poglavlje dati će detaljniji opis *main.c* datoteke, a time i dijagrama toka. Nakon pokretanja sustava i uključivanja zaglavnih datoteka i struktura slijedi inicijalizacija periferije korištene od strane mikrokontrolera: UART-a, CAN *Controller*-a, GPIO (engl. *General Purpose Input Output*) izvoda i vremenskih sklopova (engl. *timera*). Sve funkcije za inicijalizaciju nalaze se u *main.c* datoteci nakon *int main()*; dijela koda. Kada imamo kontrolu nad periferijom koristimo je da ispitamo naponsko stanje na GPIO pinu PA6. Ovisno o naponskoj razini on daje informaciju u kojem načinu rada se koristi sučelje (pogledati: *Slika 12: Blok dijagram programske podrške*). Ovisno o naponskom stanju na ulazu pina PA6, čekamo 600 ms da se upali EEG pojačalo te ga inicijaliziramo ili preskačemo ovaj dio koda.

Slijedi podešavanje struktura u inicijalno stanje: sve vrijednosti unutar struktura „bufferUartRxCanTx“ i „bufferUartTxCanRx“ se stave u „0“, osim *bufferUartRxCanTx.maxLen* i *bufferUartTxCanRx.maxLen* koji se stavljaju na vrijednost broja poruka koje želimo pohraniti u cirkularno polje, a on iznosi 30.

U ovom koraku dolazimo do beskonačne petlje koja se sastoji od nekoliko većih cjelina:

- „*Handle the Timer*“ – kada se desi preljev vremenskog sklopa, a to je svake 1 ms, on postavlja *overflow* zastavicu. Povećava se trenutna vrijednost varijable brojača „*gpioInfo.timerCurrentValue*“ koji se koristi za rutinu istitravanja i također se povećava vrijednost brojača „*timerCounter*“ koji nakon što izbroji „1000“ – što je jednako sekundi mijenja stanje LED diode – indikacija da se procesor nije zaglavio.
- „*Handle the Pushbuttons*“ – dio koda zadužen za ispitivanje stanja tipkala i kočnice te izvršavanje rutine istitravanja.

- „*Handle Received CAN Messages*“ – primanje CAN poruka ukoliko *CAN Controller* postavi zastavicu da se u registru za dolazeće poruke nalazi podatak. Ovisno o ID bitu, odlučuje se o tome što se nalazi u primljenoj poruci (pogledati poglavlja: 5.2. *Komunikacija od sučelja prema logiRECORDER-u*, 5.3. *Komunikacija od logiRECORDER-a prema sučelju*) . Neovisno o tome koji je sadržaj primljene poruke, on se sprema u *bufferUartTxCanRx.msg* na lokaciju na koju pokazuje *bufferUartTxCanRx.head* (glava cirkularnog polja). Nakon zapisa podatka vrijednost glave se pomiče za „1“, provjerava se je li vrijednost glave jednaka veličini polja, te ako je, njezina vrijednost se postavlja u „0“ i tako za svaku novu poruku.
- „*Handle Received UART Messages*“ – provjerava se zastavica koju postavlja UART koja predstavlja da registar za primljene poruke nije prazan. Ukoliko je ona postavljena, vrši se čitanje poruke iz UART periferije. Ako sučelje radi na strani EEG pojačala provjerava se je li primljeni podatak „0xC0“, tj. sinkronizacijski bajt EEG pojačala. Ukoliko nije primljen taj podatak, čeka se primitak drugoga. Iako do ove situacije ne bi smjelo doći jer je prvi podatak iz EEG pojačala uvijek „0xC0“, bolje je izgubiti jedan uzorak s pojačala nego dopustiti da se cijela struktura poruka unutar sučelja poremeti. Ako se pak primi sinkronizacijski bajt, postavlja se zastavica *readUARTFlag*. Ona omogućuje čitanje daljnjih 24 bajta podataka koji se spremaju u polje. Nakon primitka svih 24 bajta podataka, pomiče se vrijednost glave *bufferUartRxCanTx.head* na već opisani način. Ako sučelje radi na strani računala, čita se samo jedan bajt.
- „*Send CAN Messages*“ – ukoliko je vrijednost *bufferUartRxCanTx.tail* različita od *bufferUartRxCanTx.head* vrijednosti, provjerava se je li slobodan koji od registara za slanje CAN poruka. Ako je, na temelju zaglavlja unutar cirkularnog polja vrši se dodjeljivanje LSB bita i dodjeljivanje vrijednosti u brojač poruka u prva dva bajta. U preostalih 6 bajtova stavljaju se podatci iz *bufferUartRxCanTx* strukture. Pošalje se CAN poruka i nakon slanja svih 4 poruka povećava se *bufferUartRxCanTx.tail* za „1“.
- „*Send UART Messages*“ – provjeravaju se vrijednosti *bufferUartTxCanRx.head* i *bufferUartTxCanRx.tail* te ako su one različite provjeri se je li prazan registar za slanje serijskih poruka. Ako nije, nastavi dalje. Ako je, u ovisnosti o zaglavlju šaljemo prvo „0xC0“ ovisno je li u zaglavlju

strukture podatak da se nalazimo na strani računala, a ako nije, samo pošaljemo ono što se nalazi u cirkularnom polju.

Gore navedene rutine se izvršavaju ukруг do prekida rada mikrokontrolera, odnosno do njegovog isključenja iz napona napajanja. Vidljivo je da procesor radi u *polling* modu. *Polling* mod predstavlja način rada procesora gdje on provjerava zastavice određene periferije, za razliku od prekidnog načina rada kada periferija procesoru šalje prekide. Ovakav način rada je odabran zato jer je prikladan za sinkrone i periodičke događaje kojima procesor barata, a slanje i primanje paketa poruka su upravo takvi u ovom slučaju.

7. Proces snimanja i slanja podataka

Sad kad je opisan koncept rada cijelog sustava, potrebno je reći nekoliko stvari o snimanju podataka koje sučelje šalje logiRECORDER-u. Nakon smještanja elektroda na glavu osobe na kojoj se vrši mjerenje, osoba se smjesti u simulator vožnje. Ovisno o tome kakvi su uvjeti vožnje, kakav se automobil vozi i najvažnije – je li osoba umorna ili nije, ti podaci se unesu u zapisnik i moguće je početi s vožnjom. Pokretanjem snimanja videa s kamera pokreće se i snimanje EEG signala. Podaci sa sučelja zapisuju se u podnaslove videa. Drugo sučelje istovremeno omogućava praćenje signala s EEG pojačala kako bi se imao pregled nad stanjem vrijednosti napona elektroda na računalu u okruženju LabView.

Snimanje se pokreće tako da logiRECORDER pošalje podatak „0x XX XX XX XX XX 10 00 01“, gdje X predstavlja nebitnu vrijednost. Snimanje traje toliko dugo dok se ne pošalje poruka „0x XX XX XX XX XX 11 00 01“. Ukoliko je potrebno podesiti postavke sučelje na mjestu drugog bita može se staviti bilo koja naredba za EEG pojačalo i ona će njemu biti proslijeđena.

Drugi način upravljanja je moguć preko osobnog računala iz LabView-a, no ovo nije preporučeno jer se narušava stabilnost sustava – upravljanje je izvedeno isključivo iz logiRECORDER-a!

8. Izrada sučelja na univerzalnoj tiskanoj pločici

Sučelje je fizički realizirano izradom na univerzalnoj tiskanoj pločici. Univerzalna tiskana pločica odabrana je zato što shema povezivanja ne uključuje previše komponenata i nije komplicirana – izrada posebnih tiskanih pločica bila bi neisplativa.

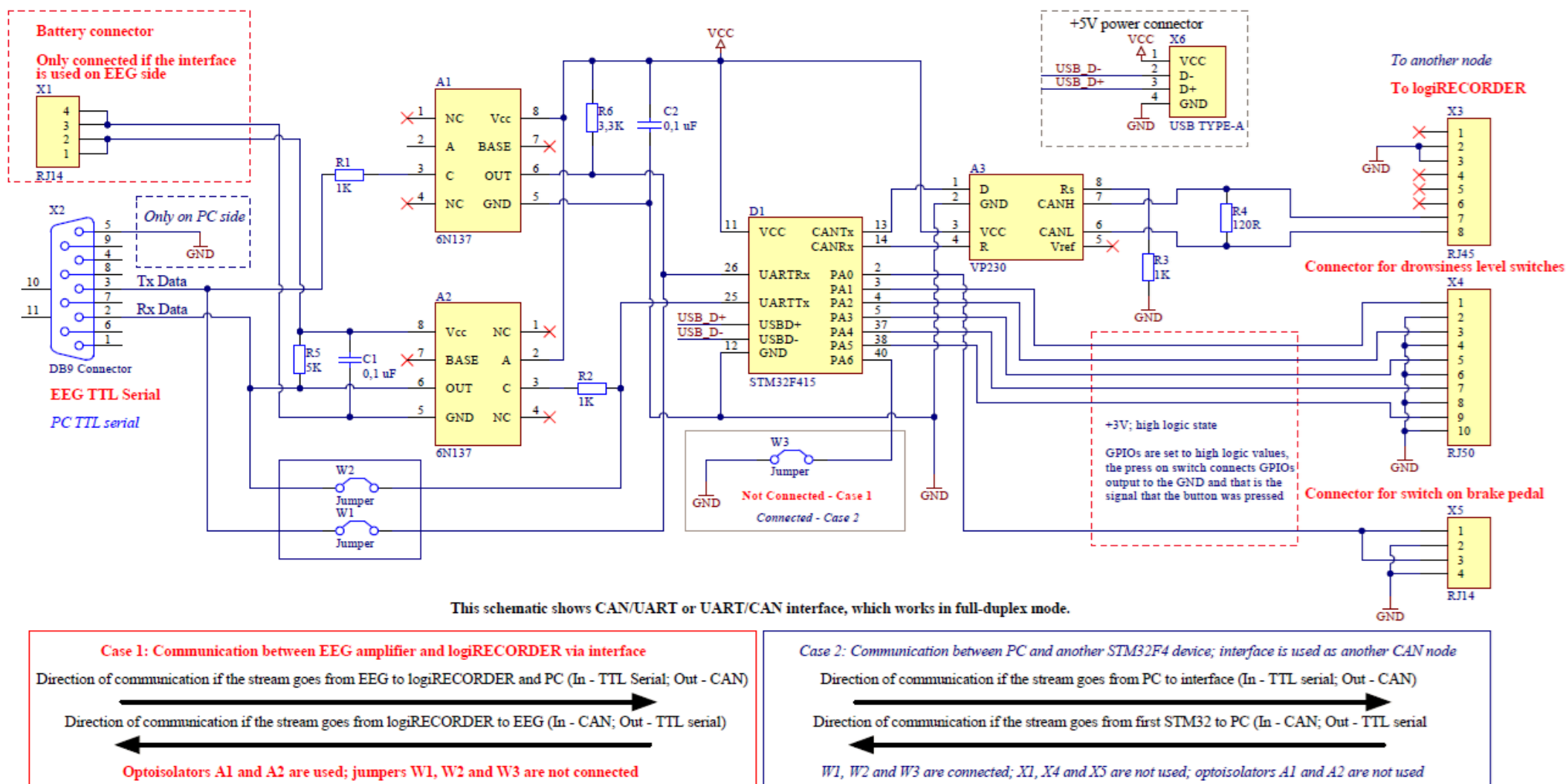
U ovom poglavlju biti će navedene i opisane korištene komponente za izradu sučelja, shema sučelja, te postupak izrade.

Tablica 4: Popis korištenih komponenti u izradi sučelja

Naziv komponente	Namjena	Vrijednost	Kućiste	Količina
D1	Razvojno sučelje – mikrokontroler s periferijom	MINI-M4 for STM32	DIL40	1
A1, A2	Opto-izolator za galvansko odvajanje	6N137	DIL8	2
A3	CAN primopredajnik	VP230	SOIC (8 pins)	1
X1	Konektor za napajanje opto-izolatora	-	RJ14	1
X2	Konektor za serijsku sabirnicu	-	DB9	1
X3	Konektor za CAN sabirnicu	-	RJ45	1
X4	Konektor za tipkala	-	RJ45	1
X5	Konektor za kočnicu	-	RJ14	1
X6	Konektor za napajanje sučelja	-	USB Type-A	1
R1, R2	Otpornici za reguliranje struje u ulazni stupanj opto-izolatora	1 K Ω	AXIAL 0.4	2
R3	<i>Pull-down</i> otpornik za VP230	1 K Ω	AXIAL 0.4	1
R4	Otpornik za zaključavanje CAN sabirnice	120 K Ω	AXIAL 0.4	1
C1, C2	Blokadni kondenzatori	0,1 μ F	RAD 0.3	2
W1, W2, W3	Premosnici	-	RAD 0.2	3

8.1. Shema sučelja

Na sljedećoj stranici prikazana je shema sučelja nacrtana u programu *Altium Designer.16.0* sa svim pripadnim komponentama.



Slika 15: Električna shema sučelja

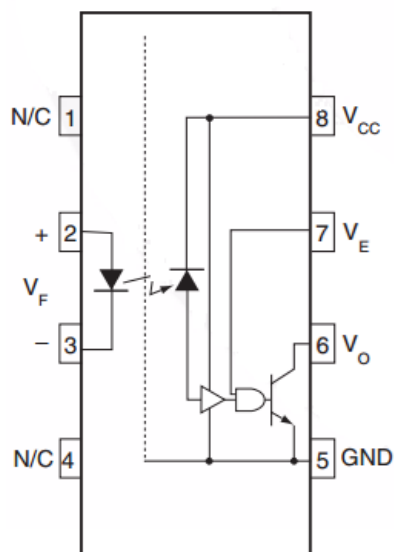
8.2. Korištene komponente

U ovom poglavlju biti će dan kratak opis korištenih komponenti u sučelju.

8.2.1. Opto-izolator 6N137

Opto-izolator korišten je za galvansko odvajanje EEG stupnja sustava od ostatka sklopovlja (pogledati: 2.1.1. *EEG pojačalo ADS1299*). Dizajniran je za rad u digitalnim sučeljima koji rade s većim brzinama prijenosa podataka (do 10 Mbit/s). Maksimalna brzina kojom sklop može mijenjati stanja na izlazu iznosi 75 ns.

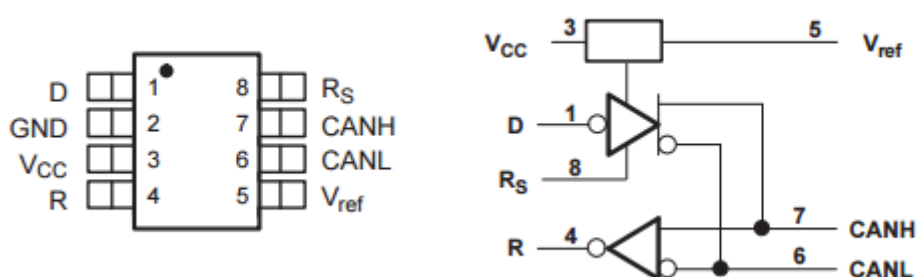
Sklop je izveden pomoću integrirane GaAsP LED diode i integriranog detektora svjetlosti – fotodiode. Fotodioda pogoni pojačalo koje pak okida *Shottkyev* tranzistor. Ulazna struja u fotodiodu iznosa 5 mA će omogućiti spajanje izlaznog tranzistora na masu te ćemo na izlazu imati stanje logičke nule. Izlaz je kompatibilan s TTL tehnologijom što odgovara tehnologiji razvojnog sučelja *MINI-M4*. Iz razloga što su logičke vrijednosti na izlazu komplementarne vrijednostima na ulazu, ne pogoni se anoda fotodiode, nego je pin *Rx* (na strani EEG pojačala i na strani sučelja) preko otpornika spojen na katodu fotodiode te tako omogućuje dobivanje visokog stanja na izlazu kad se na pinu *Rx* nalazi visoko stanje. Ovo je ostvareno tako što nema pada napona na fotodiodi za ovaj slučaj, dok za logičko stanje „0“ na pinu *Rx* fotodioda provede te uključi izlazni tranzistor (postoji pad napona na diodi).



Slika 16: Električna shema opto-izolatora 6N137

8.2.2. CAN primopredajnik VP230

Namjena primopredajnika je da transformira signal TTL logičke razine koje dobiva na ulaznom pinu u signal logičkih razina koji odgovaraju vrijednostima signala na CAN sabirnici (pogledati: 5.1.2. *Arbitracija i logička stanja na CAN sabirnici*). Druga zadaća mu je signale s CAN sabirnice u slučaju dolazne poruke prebaciti u TTL oblik kojim dalje može baratati *CAN Controller*.



Slika 17: Izgled kućišta VP230 (lijevo) i njegov logički dijagram (desno)

Ovaj primopredajnik radi s logičkim vrijednostima od 3,3 V do 5 V. Ovisno od korištenog napona napajanja, neutralno (engl. *idle*) stanje sabirnice biti će 1,65 V, odnosno 2,5 V. Aktivno logičko stanje povlači CANH liniju na razinu napajanja, a liniju CANL na vrijednost zajedničkog potencijala. Iako ovaj primopredajnik na izlazu daje napone najveće razine 5 V, on je tolerantan za rad s drugom naponima koji bi se mogli naći na sabirnici (od strane drugih primopredajnika), na svojim izvodima *CANH* i *CANL* od - 4 V do 16 V.

8.2.3. Ostale komponente

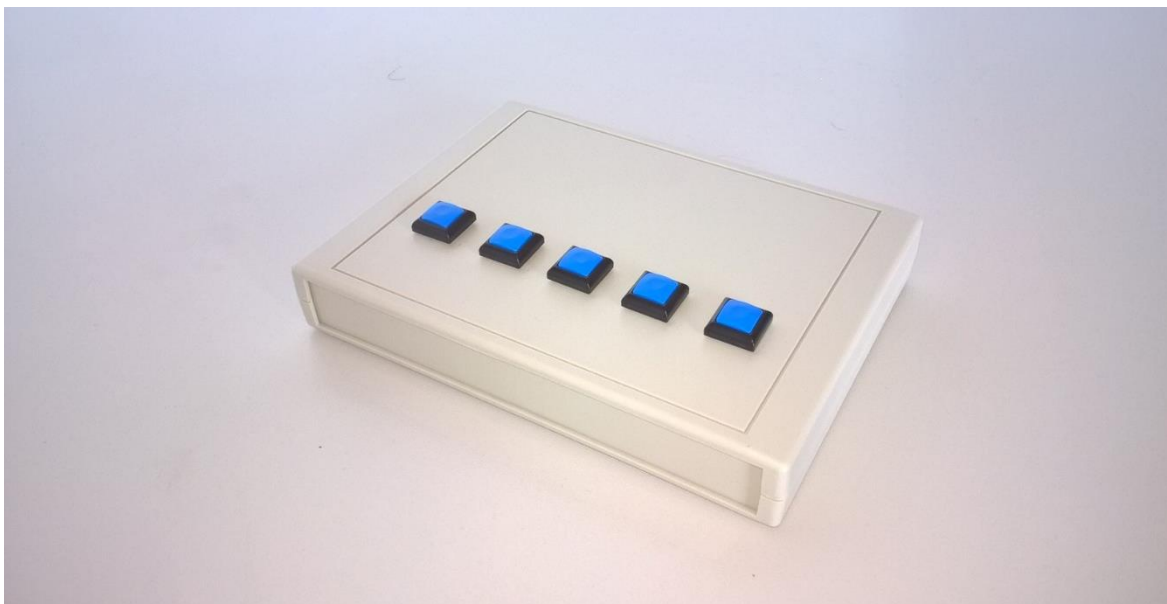
Od ostalih komponenti korišteni su u tablici navedeni konektori te se oni neće posebno opisivati. Način spajanja svih konektora na sabirnice vidljiv je na shemi sučelja. Razvojno sučelje *MINI-M4* već je opisano (pogledati: 3. 3. *Razvojno sučelje MINI-M4*), a za opisom pasivnih komponenti (otpornici, kondenzatori) nema potrebe.

8.3. Lemljenje i montaža u kućište

Svi dijelovi sustava osim samog EEG pojačala razvijeni su u firmi Xylon d.o.o. Nabavljena su 4 kućišta od kojih su 2 metalna, a dva plastična.

Metalna kućišta za zatvaranje sučelja su dimenzija 10 cm x 12cm x 8cm. Kućišta su metalna iz razloga oklapanja sučelja. Iako je EEG pojačalo oklopljeno, dodatnim oklapanjem samog sučelja dobiva se na većem smanjenju elektromagnetskih smetnji koje sučelje zrači prilikom rada. Metalno kućište na sebi ima spomenute priključke za sabirnice (pogledati: 2.1.4. *Sabirnice i priključci*).

Treće kućište dimenzija 14 cm x 19 cm x 3 cm, koje je plastično, koristi se kao postolje za tipkala. Ono na sebi ima RJ50 konektor kojim je povezano sa sučeljem. Na sljedećoj slici prikazano je kućište s tipkalima.



Slika 18: Kućište s tipkalima

Četvrto kućište u sebi sadrži EEG pojačalo i *power bank*. Dimenzije su mu: 10 cm x 24 cm x 12 cm. Na jednoj svojoj vanjskoj strani ovo kućište ima 3 priključka: DB9 za serijsku komunikaciju, RJ14 kao izvor napajanja za opto-izolatore i USB priključak tipa A za punjenje *power bank-a*. Druga strana kućišta ima izvode za 8 kanala EEG pojačala – 16 priključaka pošto je pojačalo diferencijsko te jedan priključak za referentnu elektrodu.

Mehaničku obradu kućišta obavio je Vlado Margetić (*Xylon d.o.o.*).

9. Zaključak

Sučelje EEG pojačala i sustava logiRECORDER primjenjuje se iz razloga kako bi bila moguća istovremena pohrana video snimki te EEG signala zajedno s podacima o tipkalima koje govore o subjektivnoj ocjeni umora samog ispitanika (vozača) i podatka o vremenu pritiska kočnice u logiRECORDER.

Zajedno ove 4 komponente služe za stvaranje baze podataka s EEG signalima iz kojih se promatra trenutačno stanje umora vozača. Podaci o tipkalima služe kako bi se s još većom točnošću moglo zaključiti o razini umora ispitanika. Podatak s kočnice koristi se kako bi se vidjelo vrijeme reakcije vozača na prepreke koje se povećava s većom razinom umora.

Po svojoj funkcionalnosti sučelje ne izgleda kao da radi neku zahtjevniju stvar – prihvaća podatke jednom vrstom komunikacije i prema logiRECORDER-u ih šalje drugom, no njegova realizacija nije bila previše jednostavna. U radu su opisani dijelovi cijelog sustava, dijelovi sučelja, način rada programske podrške, serijska i CAN komunikacija te način implementacije svih dijelova u funkcionalnu cjelinu.

Izvedba sučelja omogućila je tvrtki Xylon d.o.o da snime ovakva mjerenja i poboljšaju funkcionalnost sustava logiDROWSINE što je i bio cilj ovog rada.

Mihael Varga

10. Literatura

[1] Urban Revolt Power Bank Data Sheet

<http://www.trust.com/en/product/20070-powerbank-8800-portable-charger-black>, datum pristupa: 20.05.2016.

[2] Informacije o sustavu logiDROWSINE

<http://www.logicbricks.com/Products/logiDROWSINE.aspx>, datum pristupa: 05.04.2016.

[3] Informacije o sustavu logiRECORDER

<http://www.logicbricks.com/Solutions/Xylon-logiRECORDER-Multi-Channel-Recording-Vision-ADAS-Kit.aspx>, datum pristupa: 05.04.2016.

[4] MINI-M4 razvojno sučelje

<http://www.mikroe.com/mini/stm32/>, datum pristupa: 29.04.2016.

[5] Drowsy driving facts and stats

<http://drowsydriving.org/about/facts-and-stats/>, datum pristupa: 19.04.2016.

[6] Medved M. „Mjerni sustav za sučelje između mozga i računala“, Zagreb, lipanj 2015.

[7] Information about shift register

https://en.wikipedia.org/wiki/Shift_register<http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/98/9f/89/73/01/b1/48/98/DM00035129.pdf/files/DM00035129.pdf/jcr:content/translations/en.DM00035129.pdf>, datum pristupa: 29.04.2016.

[8] Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver/transmitter, datum pristupa: 29.04.2016.

[9] Informacije o RS-232 standardu

<https://en.wikipedia.org/wiki/RS-232>, datum pristupa: 29.04.2016.

[10] Serial communication

https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_communication, datum pristupa: 29.04.2016.

[11] Tutorial about serial communication

<https://www.sparkfun.com/tutorials/215>, datum pristupa: 28.04.2016.

[12] ADS1299 Data Sheet

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1299.pdf>, datum pristupa: 12.04.2016.

[13] Introduction to the Controller Area Network

<http://www.ti.com/lit/an/sloa101a/sloa101a.pdf>, datum pristupa: 13.04.2016.

[14] 6N137 Data Sheet

<http://www.ti.com/product/6N137/description>, datum pristupa: 10.05.2016.

[15] VP230 Data Sheet

<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/185385/TI/VP230.html>,
datum pristupa: 10.05.2016.

[16] STM32F415 Data Sheet and information

http://www.st.com/content/st_com/en/products/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32f4-series/stm32f405-415/stm32f415rg.html?sc=internet/mcu/product/252143.jsp,
datum pristupa: 29.04.2016

Sučelje EEG pojačala i sustava logiRECORDER

Sažetak

Ovaj rad je dio projekta koji se bavi proučavanjem, snimanjem i obradom EEG signala i signala dobivenim bihevioralnim mjerenjima (analiza video snimke, odnosno pokreta lica ispitanika) te njihovim uspoređivanjem. Rezultati dobiveni EEG mjerenjima koriste se kao referenca za ispitivanje pouzdanosti sustava logiDROWSINE (Xylon d.o.o) koji na temelju analize videa donosi zaključak o umoru ispitanika (vozača automobila).

Primjena sučelja je da sustavu logiRECORDER (Xylon d.o.o) proslijedi podatke iz EEG pojačala koje on sprema u podnaslove video zapisa u kojemu se nalazi snimka vozača. Sučelje je realizirano pomoću mikrokontrolera tvrtke ARM serije STM32F415, odnosno razvojnog sučelja MINI-M4 for STM32.

Na razvojnom sučelju omogućena je obrada dobivenih podataka s EEG pojačala preko serijske veze u stvarnom vremenu te njihovo slanje putem CAN-a prema sustavu logiRECORDER. Smjer komunikacije je obostran, tako da je moguće upravljati postavkama pojačala s logiRECORDER-a. Na sučelje je moguće spojiti dodatni CAN čvor koji prihvaća podatke i serijskom vezom ih šalje prema računalu gdje se oni mogu prikazivati.

Ideja sustava je uspoređivanje signala dobiveni Xylonovom (bihevioralnom) metodom i metodom mjerenja bioelektričnih signala (EEG pojačalo) te njihovo usklađivanje. Tako se može vidjeti i zaključiti kako umor djeluje na motoričke funkcije vozača.

Ovim sustavom bi se mogao smanjiti broj prometnih nesreća izazvanih zbog umora jednom kad se sustav logiDROWSINE implementira u automobile.

Ključne riječi

Sučelje, logiRECORDER, serijska komunikacija, CAN, EEG pojačalo, EEG signali, umor, mikrokontroler, *baud rate*.

Interface between EEG amplifier and logiRECORDER system

Summary

This thesis is part of the project that deals with studying, recording and processing of EEG signals and signals obtained by behavioural measurements (video analysis, i.e. facial movement analysis), and their comparison. EEG results are used as a reference for the examination of reliability of logiDROWSINE (Xylon d.o.o) system which concludes subject's (driver's) fatigue level based on the video analysis.

The interface is utilized in order to transfer data of EEG amplifier to the logiRECORDER (Xylon d.o.o) system. Moreover, the data is saved in subtitles of the video in which the recording of the driver is located. The interface is realised by the microcontroller of the ARM company series STM32F415, that is to say, development board MINI-M4 for STM32.

The interface enables real-time data processing obtained from EEG amplifier over the serial link along with their transmission via CAN to the logiRECORDER system. Communication is possible in both directions and thus one may control the settings of the amplifier using logiRECORDER. Furthermore, we can add the additional CAN node which then receives data, and sends it to the computer using the serial link where they can be displayed.

The idea of the system is a comparison of signals obtained by Xylon's (behavioural) method and method of measuring the bioelectrical signals (EEG) themselves in order to synchronize them. As a result, it is possible to see and conclude in what way fatigue affects driver's motor functions.

This system may reduce the number of traffic accidents caused by fatigue once the logiDROWSINE system is implemented in cars.

Keywords

Interface, logiRECORDER, serial communication, CAN, EEG amplifier, EEG signals, fatigue, microcontroller, baud rate.