

## JEDNO REŠENJE BEŽIČNE TASTATURE NA BAZI INFRARED TEHNOLOGIJE ONE SOLUTION FOR A WIRELESS KEYBOARD BASED ON INFRARED TECHNOLOGY

Lazar Vukasović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

### Oblast – MEHATRONIKA

**Kratak sadržaj** – U ovom radu je predstavljeno jedno rešenje za problem daljinskog upravljanja računarskih sistema pomoću infracrvene tehnologije, koje je kompatibilno sa USB2.0 standardom koje je razvijeno za AtMega32u4 mikrokontroler. Rad prožima osnovne koncepte rada USB HID uređaja kao i rad FDC-3402 infracrvene tasture.

**Abstract** – This work presents a solution to a problem of wireless control of computer based systems by using infrared technology. Solution is based on AtMega32u4 microcontroller and is compatible with USB2.0 standard. Work describes implementation of USB HID devices and use of FDC-3402 infrared keyboard.

**Ključne reči:** Infrared prijemnik, mikrokontroler, USB komunikacija, računarska tastatura, FDC protokol

### 1. UVOD

Elektronski sistemi koji se koriste za bežično upravljanje su sve češći u upotrebi, pored najnovijih tehnologija niske potrošnje kao što su ZigBee, Bluetooth Low Energy, Z-Wave teško je bilo osmisлити uređaj koji bi mogao svojom potrošnjom da parira, a da pritom bude primenjiv u praksi. Otuda se stvorila ideja za uređaj koji bi mogao upravljati računarom bežično i pritom imati izrazito malu potrošnju. Prednost korišćenja infracrvene tehnologije kao temelj ovog uređaja zasniva se na ogromnom uvećanju broja uređaja koji koordinišu u 2.4 GHz spektru. Samim tim smetnje koje se generišu kao i zračenje koje emituju mogu biti neprikladna u nekim sredinama.

Infracrvena tehnologija zahteva optičku vidljivost predajnika i prijemnika, ali ujedno pruža brzu komunikaciju koja ne zahteva prethodnu inicijalizaciju, kao ni održavanje veze kao gore pomenute tehnologije.

Stvorila se ideja da se napravi jedinstven uređaj koji bi se jednostavnim povezivanjem na računar prikazao računaru kao standardna računarska tastatura. Uređaj ima infracrveni prijemnik kojim se mogu primiti podaci sa različitih infracrvenih daljinskih upravljača, različitih proizvođača koji definišu sopstvene infracrvene protokole komunikacije. Konceptualni prikaz opisanog uređaja dat je na slici 1.

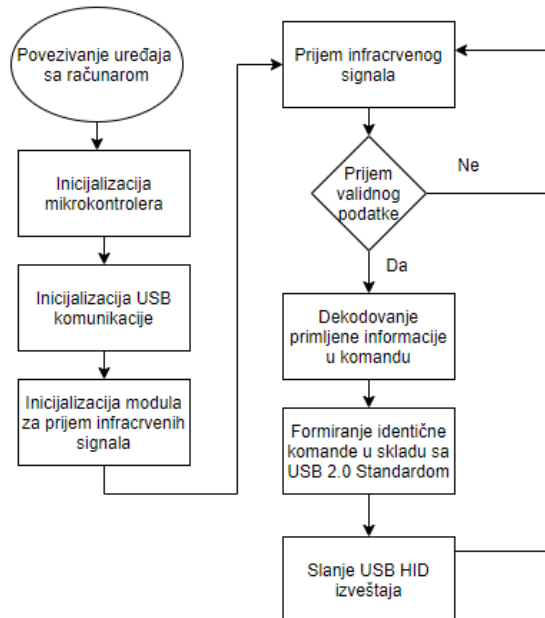
### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Rajs, docent.



Slika 1. Konceptualni prikaz opisanog uređaja

Funkcionalni dijagram rada uređaja dat je slikom 2.



Slika 2. Blok dijagram rada uređaja

Uređaj se napaja pomoću USB porta, tako da se celokupan sistem podiže povezivanjem na računar. Nakon povezivanja kreće inicijalizacija mikrokontrolera i njegovih periferija, uspostavlja se USB komunikacija i inicijalizuje modul za prijem podataka preko infracrvenih prijemnika. Po prijemu podataka oni se jednoznačno dekoduju u komande koje mogu predstavljati pritisak jednog ili više tastera na daljinskom upravljaču, pomeranje džojstika i slično. Te komande se potom

prebacuju u oblik koji odgovara *USB* standardu za *HID* uređaje, u koje spadaju između ostalih računarski miševi i tastature, a potom šalju računaru koji ih izvršava.

## 2. PREDNOSTI I OSOBINE USB 2.0 STANDARD

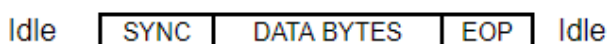
Pre pojave *USB* tipa konektora do tada korišćeni konektori (serijski, paralelni, *PS2*, džojstik konektori i mnogi drugi) su unosili zabunu kod korisnika, nije bilo univerzalnog načina korišćenja, mnogi nisu imali podršku za povezivanje u već startovani sistem i zbog toga su zamenjeni. Njihov naslednik pojavio se u obliku *USB* tipa konektora koji je uneo broj novina, jednostavnu upotrebu i takozvani *hotplug* princip priključivanja. Izbor tipa komunikacije sa računarem za predstavljeno rešenje bio je prilično očigledan, odučeno je da uređaj koristi *USB* konekciju i da podržava *USB 2.0* standard[2]. Zbog velike kompatibilnosti između operativnih sistema prema *USB* klasi uređaja, odlučilo se da se iskoriste već standardom propisane klase i zbog toga je izabrana *HID* klasa uređaja. Ovaj izbor je doprineo mnogo lakšoj upotrebi uređaja sa strane korisnika, zbog toga što ne zahteva instalaciju specijalnog softvera za korišćenje, a većina danas popularnih operativnih sistema koji su u upotrebi dolaze sa integrisanim drajverom za *HID* klase uređaja.

Odlika *USB* protokola je da u sistemu može postojati samo jedan centralni kontroler, koji prozivajući ostale podređene kontrolere dobija informacije o njihovim stanjima. Izuzetak ovome predstavlja *USB OTG* funkcionalnost koja daje mogućnost da uređaji smenjuju njihovu funkciju i prelaze iz stanja centralnog odnosno glavnog kontrolera (*host*) u stanje podređenih kontrolera (*slave*).

Pored ove odlike, prednost ovog protokola je i mogućnost napajanja direktno sa magistrale. *USB* standardom je predviđeno napajanje od *5V* (sa mogućim odstupanjem do pet posto) pri čemu nekonfigurisani uređaj može da se napoji maksimalnom strujom od *100mA*, a u konfigurisanom stanju i do *500mA*.

Fizička realizacija konektora (koji postoji u više oblika, *mini*, *micro* i *standard* tipa *A* i *B*) druge verzije protokola je prilično jednostavna, pored linija za napajanje na *USB* konektoru nalazi se diferencijalni par linija za slanje i prijem signala.

Prenos podataka između računara i uređaja, svodi se zapravo na komunikaciju sa njegovim implementiranim *endpointima* koji imaju protokolom definisane funkcionalnosti u zavisnosti od klase koja je implementirana na datom *endpointu*. Najmanji element u prenosu podataka naziva se paket, pre i nakon slanja paketa, magistrala je u neaktivnom stanju. Izgled jednog paketa dat je slikom 3.



Slika 3. Prikaz jednog paketa

Nakon povezivanja uređaja na *USB* konektor računara, uređaj se nalazi u nekonfigurisanom stanju, a da bi prešao u konfigurisano stanje računari izdaje niz komandi kojima ispituje mogućnosti uređaja, serijski broj, proizvođača,

jedinstvene identifikatore kao što su *VID* i *PID*. Nakon što računari dobije potrebne informacije, ukoliko su one validne učitava se drajver uređaja i uređaj u tom trenutku postaje konfigurisan. Komande koje računari izdaje su za dobavljanje deskriptora sa datog uređaja. Deskriptorima se zapravo opisuje broj *endpointa* uređaja i pojedinačno funkcionalnosti svakog *endpointa*. U zavisnosti od funkcionalnosti koja je implementirana na datom *endpointu* računari može poslati više upita za različite deskriptore ili ponoviti upite.

## 3. INFRACRVENA TEHNOLOGIJA I FDC PROTOKOL

Infracrveni prenos podataka se koristi na malim udaljenostima između računara i ličnih digitalnih pomoćnih uređaja. Daljinsko upravljanje koristi infracrvene svetleće diode, da bi se emitovale infracrveno zračenje, koje je sabijeno u žarište plastičnim sočivom, da bi se dobio usmeren zrak. Taj svetlosni zrak se potom modulira, pali i gasi, da bi se podaci kodirali. Prijemna strana koristi infracrveni prijemnik (silicijumski fotodiodu), da bi pretvorio infracrveno zračenje u električnu struju[1]. Karakteristično za infracrvenu komunikaciju je da je potrebna optička vidljivost između predajnika i prijemnika, što znači da svaka fizička prepreka kao na primer zid ili neki objekat mogu da naruše komunikaciju. Velika prednost ovog vida komunikacije je što nema negativnih efekata na ljudsko telo, nije potrebno odražavanje veze, niti prethodna inicijalizacija protokola pri početku slanja. Korišćenjem infracrvene komunikacije moguće je postići i brzine do *1Gbps*, naravno za takve brzine koriste se infracrveni laseri i optička vlakna. Signali koji se koriste u daljinskim uređajima su obično modulisani na frekvencijama *36kHz* ili *38kHz*, kako bi se smanjio uticaj okoline, sunčeve ili ambijentne svetlosti.

Protokol koji je korišćen na predajnoj strani daljinskog uređaja je FDC protokol. Njegove karakteristike date su tabelom 1.

Tabela 1. Karakteristike FDC protokola

Frekvencija rada	38 kHz
Modulacija	Impulsno distantna
Izgled frejma	1 startni bit + 40 bita podataka + 1 stop bit
Podaci	8 adresnih bita + 12 x 0 bita + 4 bita za pritisak + 8 komandnih bita + invertovanih komandnih bita za proveru
Startni bit	2085µs impuls, 966µs pauza
0 bit	300µs impuls, 220µs pauza
1 bit	300µs impuls, 715µs pauza
Stop bit	3005µs impuls
Repeticija	Ne postoji
Biti pritisnutog tastera	1111
Biti otpuštenog tastera	0000
Redosled bita	LSB prvo

Ovaj protokol trenutno implementira samo jedan uređaj, a to je infracrvena tastatura FDC-3402. Razlog zbog kojeg je izabrana baš ova tastatura kao daljinski upravljač u ovom radu je njena niska cena.

## 4. FIZIČKA ARHITEKTURA

S obzirom na ograničenja u ceni uređaja, a sa druge strane potrebe da se koristi USB protokol koji iziskuje poseban fizički modul u silikonskom čipu, a pritom i diktira minimalne brzine takta mikrokontrolera bilo je potrebno pažljivo odabrati mikrokontroler. Ujedno je trebalo voditi računa da osim što treba da bude kompatibilan sa USB 2.0 protokolom da mora biti i dovoljno brz kako bi mogao istovremeno da komunicira sa računarnom i daljinskim upravljačem (dekodovanje infracrvenih signala). Iz svih ovih ograničenja odlučeno je da se koristi *AtMega* kontroler, koji ne iziskuje velika početna ulaganja za opremu kako bi se mogao testirati, stoga je bilo moguće uz minimalno opreme kreniti u početno istraživanje. Odlučeno je da se koristi *AtMega32u4[3]* mikrokontroler, kako se on već koristi u nekim širokorasprostranjenim integrisanim rešenjima (*Arduino Leonardo*) uz njega je bilo dostupno puno dokumentacije o korišćenju i ograničenjima.

Programiranje mikrokontrolera se vrši pomoću *USBasp* uređaja, koji predstavlja *in-circuit* programator za *Atmel AVR* mikrokontrolere.

Pored mikrokontrolera bilo je potrebno obezbediti infracrveni prijemnik, kao i neophodnu prateću elektroniku za pretvaranja infracrvenog zračenja u električnu merljivu komponentu. U ove svrhe izabran je gotovi modul koji dolazi sa 1.5 metara produžnog provodnika i 3.5 mm izlaznim konektorom. U središtu ovog modula nalazi se *TSOP4838* infracrveni prijemni modul za daljinski upravljane sisteme.

## 5. PROGRAMSKO REŠENJE

Kao polazna tačka rešenja uzet je gotov proizvod u vidu računarske tastature i pomoću alata za dijagnostiku zabeležene su glavne karakteristike ovog uređaja. Polazna ideja bila je da se prvo osposobi *USB* komunikacija ka računaru, potom da se podese svi potrebni deskriptori kako bi uređaj pri povezivanju bio prikazan identično kao i svaka druga *HID* računarska tastatura. Potom se pristupilo implementaciji funkcionalnosti koje su takođe morale biti identične kao i kod pomenute tastature. Nakon osposobljavanja *USB* komunikacije pristupilo se implementaciji *IRMP* protokola. U ovim fazama odvojeno su se implementirale funkcionalnosti *USB* komunikacije i *IRMP* protokola, što je uslovalo sledeću fazu u kojoj su se integrisale obe funkcionalnosti u jednu. Nakon ove faze dobijen je prvi prototip gotovog uređaja koji je bio funkcionalan za najosnovnije stvari. Potom se pristupilo usavršavanju ovog prototipa kako bi se dobilo gotovo rešenje i funkcional uređaj koji može istovremeno da primi 6 pritiska na tastere istovremeno, i da šalje identične komande kao i klasična *HID* računarska tastatura.

Dalji nastavak proizvoda se nastavio u smeru dodavanja novih interfejsa koji bi omogućili da uređaj može da se prikaže računaru istovremeno kao *HID* računarska tastatura, *HID* računarski miš i port za serijsku komunikaciju. Sa tim na umu implementirane su i funkcionalnosti za ove dodatne interfejse, tako da se port za serijsku komunikaciju koristi za ispisivanje pomoćnih ispisa tokom razvoja proizvoda takozvanih debug

informacija, dok su dva pomoćna tastera na levoj strani *FDC-3402* tasture povezana kao levi i desni tasteri *HID* računarskog miša.

Za podršku velikog broja infracrvenih protokola na uređaju korišćeno je gotovo rešenje u vidu *IRMP[4]* biblioteke. Ova biblioteka podržava veliki broj infracrvenih protokola, ima otvoren pristup kodu i lako se mogu dodavati novi protokoli ili menjati postojeći, odnosno dodavati nove funkcionalnosti. Cela biblioteka sadržana je u nekoliko datoteka koji nose naziv *irmpprotocol*, *irmpprotocols* i *irmpprotocolsystem*. Od kojih treba izdvojiti *irmpprotocol* koji sadrži na jednom mestu sve moguće konfiguracije biblioteke koje je potrebno podesiti pre upotrebe ove biblioteke. U ostatku datoteka nalaze se stvari osobene za jezgro biblioteke i svih protokola koji su podržani.

Zbog razlike u načinu funkcionisanja *FDC-3402* tastature i klasične računarske tastature trebalo je osmisliti algoritam koji će biti u stanju da primljeni podatak sa *FDC* tastature konvertuje u čitljiv podatak računaru, a potom ga upakuje i oblikuje u format kompatibilan *USB 2.0* standardu.

Ovo je realizovano u kodu primenom mašine konačnih stanja, gde se prvo obrađujem primljeni podatak preko infracrvenog prijemnika.

Potom se indeksira poslata komanda u *mapi*, koja sadrži korelaciju komandi između *FDC* tastature i računarske tastature.

Pod komandom se može podrazumevati pritisak jednog ili više tastera u kombinaciji sa modifikatorskim tasterima. Modifikatorske tastere predstavljaju *shift*, *ctrl*, *alt* i *gui* tasteri na obe strane tastature. Potom se indeksirana komanda smešta u niz za slanje, i pomoću implementiranih API funkcija šalje sa mikrokontrolera računaru.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je realizacija uređaja koji je u stanju da uspešno simulira komande klasične računarske tastature, gde se komande primaju putem infracrvenog prijemnika, a šalju daljinskim upravljačem preko jednog od više od 60 podržanih infracrvenih protokola.

Najveća mana ovog sistema jeste nepouzdana infracrvena komunikacija između prijemnog i predajnog uređaja usled koje može doći do potpunog obustavljanja rada uređaja. Moguće rešenje ovog problema bi bila implementacija povratne informacije na strani infracrvenog prijemnika, što bi značilo da se u sistem treba dodati jos jedan infracrveni prijemnik i predajnik.

To bi značajno uticalo na potrošnju baterije u daljinskom upravljaču i uvelo bi niz novih komplikacija u programskom rešenju.

Kao nastavak ovom radu moglo bi se razmisliti o dodavanju novih funkcionalnosti i profila na strani *USB* komunikacije, čime bi se značajno moglo proširiti polje upotrebe datog rešenja. Takođe implementacijom više infracrvenih prijemnika bi se mogao povećati prijemni ugao signala i time značajno uticalo na pouzdanost sistema.

## 7. LITERATURA

- [1] V. Kovačević, M. Popović, M. Temerinac, N. Teslić  
Arhitektura i algoritmi digitalnih signal procesora I ,  
Novi Sad, FTN, 2005.
- [2] *Universal Serial Bus Specification Revision 2.0*, USB  
Org., 2000.
- [3] *Atmega16u4/32u4 Datasheet*, Microchip Technology,  
2016.
- [4] *IRMP*, Frank M., 2018.

### Kratka biografija:



**Lazar Vukasović** rođen je u Subotici 1993. godine. Osnovne studije je završio 2016. godine na smeru Mehatronika. Ovaj rad je proistekao iz master rada koje će biti odbranjen u 2018. godini.