

ŠOLSKI CENTER VELENJE

Elektro in računalniška šola

Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA

ALI JE LI-FI-TEHNOLOGIJA PRIHODNOSTI?

(LI-FI omrežno povezovanje s svetlobo)

Tematsko področje: Telekomunikacije

Avtorja:

Luka Lah, 2. letnik

Samo Pungaršek Pritržnik, 2. letnik

Mentorja:

Miran Zevnik, univ. dipl. inž.

Nedeljko Grabant, dipl. inž.

Šolski Center Velenje, 2018

Raziskovalna naloga je bila opravljena na ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2017/2018.

Mentorja:

Miran Zevnik, univ. dipl. inž.

Nedeljko Grabant, dipl. inž.

Datum predavitve: marec 2018



By: Avtorji L. Lah; S. P. Pritržnik; Nedeljko Grabant, Miran Zevnik

Ključna dokumentacijska informacija

ŠD	ŠC Velenje, šolsko leto 2017/2018
KG	LI-FI-tehnologija / Wi-Fi / komunikacija z vidno svetlobo
AV	LAH, Luka; PRITRŽNIK Pungaršek, Samo
SA	ZEVNIK, Miran; GRABANT, Nedeljko
KZ	3320 Velenje, Trg mladosti 3, SLO
ZA	ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2017
LI	2018
IN	ALI JE LI-FI-TEHNOLOGIJA PRIHODNOSTI?
TD	Raziskovalna naloga
OP	VIII, 38 str., 5 tab., 0 graf., 35 slik, 1 pril., 50 vir
IJ	SL
JI	sl
AI	

Brezžična omrežja so v sedanjosti del našega življenja. Najverjetneje vsi poznamo Wi-Fi radijsko omrežje, ki lahko dosega dobre hitrosti za vsakdanjega uporabnika. Kaj pa, če bi vam povedali, da obstaja tehnologija, ki dela še hitreje, kot je lahko maksimalna hitrost najnovejšega USB-priključka? Navaden uporabnik bi najbrž povedal, da takšne tehnologije ne potrebuje, saj sploh še ne obstaja tako hitro internetno omrežje oziroma se lahko z lahkoto povežemo na optični priključek, ki nima omejene hitrosti (omejitev je seveda hitrost omrežne povezave). Ta tehnologija je imenovana LI-FI (ang. light-fidelity). Ta tehnologija je primernejša za uporabnike, ki se ukvarjajo s podatki, ki jih je potrebno hitro prenašati iz ene naprave na drugo. Seveda pa jo lahko uporabljajo vsi uporabniki, kar pomeni, da nas ne bi več omejevala hitrost dosedanje tehnologije. Pravzaprav bi bilo to še boljše, saj je poraba energije bistveno manjša od navadnega usmerjevalnika, in pa tudi zato, ker te tehnologije ne motijo radijski signali, saj delujejo preko svetlobe. Namen te raziskovalne naloge je izdelava lastnega prototipa takega LI-FI-vezja in ugotavljanje prednosti ter slabosti tega prototipa.

Key words documentation

ND ŠC Velenje, 2015/2017

CX LI-FI technology / Wi-Fi / Visible Light Communication

AU LAH, Luka; PRITRŽNIK Pungaršek, Samo

AA ZEVNIK, Miran; GRABANT, Nedeljko

PP 3320 Velenje, Trg mladosti 3, SLO

PB ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2017

PY 2018

TI IS THE LI-FI TECHNOLOGY – THE TECHNOLOGY OF THE FUTURE?

DT RESEARCH WORK

NO VIII, 38 pag., 5 col., 0 gra., 35 pic., 1 anne., 50 sour.

LA SL

AL sl/en

AB

Wireless networks are part of our everyday lives. We all are probably familiar with radio WI-FI network which can reach high enough speeds for an everyday user. But what if we tell you that there is a technology that can work even faster than the maximum speed of the newest USB connector? The everyday user will probably tell us that they don't need that kind of technology because there isn't even that fast internet connection or that they can connect themselves to the optical cabel which is not the limit to speeds (the limit is of course internet connection speed). This technology is known as Li-Fi. (light-fidelity). Such technology would be more useful for the users who need to transfer data fast from one device to another. It can be also used by every single user so that way the speed limit of technology would not bother us anymore. Actually that would be even better because the power consumption is much lower that the routers and because Li-Fi isn't disturbed by radio signals (it works on light). The purpose of this research project is to produce a prototype of a LI-FI circuit and to determine the advantages and disadvantages of this prototype.

Seznam okrajšav

3D – 3-dimenzionalno

Angl. – prevod iz angleščine

ASK – angl. Amplitude Shift Keying (amplitudna modulacija)

Bandwith – pasovna širina

CNC – angl. Computer Numerical Control (numerični krmilnik)

FSK – angl. Frequency Shift Keying (frekvenčna modulacija)

GND – angl. Ground (ozemljitev)

HardWired – trdo-žično

IrDA – angl. Infrared Data Association (infrardeč)

ITK – Informatika s tehničkim komuniciranjem

LED – angl. Light Emitting Diod (svetleča dioda)

Li-Fi – angl. light fidelity (svetlobno valovanje)

Mbps – angl. Mega bits per second (mega bitov na sekundo)

PA – angl. Power Amplifier (ojačevalnik)

PCB – angl. Printed Circuit Board (tiskano vezje)

PSK – angl. Phase Shift Keying (fazna modulacija)

ROV – angl. Remotely operated underwater vehicle (ročno krmiljeno podvodno vozilo)

Transciever – oddajnik in hkrati sprejemnik

USB – angl. Universal Serial Bus (univerzalno serijsko vodilo)

VLC – angl. Visible Light Communication (svetlobna komunikacija)

Wi-Fi – angl. wireless local area network (brežžično omrežje)

Npr. – na primer

Kazalo vsebine

1	UVOD	1
1.1	Hipoteze.....	1
1.1.1	Ideja za izdelavo lasnega Li-Fi-vezja	1
2	PREGLED STANJA TEHNIKE.....	2
2.1	Kaj je LI-FI?.....	2
2.2	Delovanje tehnologije.....	3
2.3	Primerjava Li-Fi in Wi-Fi.....	5
2.4	Pomanjkljivosti z Wi-Fi-jem	5
2.5	Prednosti Li-Fi-a.....	6
2.6	Pomanjkljivost Li-Fi-a	6
2.7	Uporaba Li-Fi-a.....	7
2.8	Digitalna modulacija	8
2.8.1	Amplitudna modulacija ASK	8
2.8.2	Frekvenčna modulacija FSK	9
2.8.3	Fazna modulacija PSK	9
2.9	IR-fotodioda	10
3	IZDELAVA LASTNEGA LI-FI-VEZJA Z INTEGRIRANIM IR- SPREJEMNIKOM IN ODDAJNIKOM TFDU6103-TR3	11
3.1.1	Sestavljanje lastnega Li-Fi-vezja.....	11
3.1.2	Arduino koda za prenos podatkov	24
4	OPIS UPORABLJENEGA MATERIALA	27
4.1	Arduino Uno.....	27
4.2	Integrirano vezje TFDU6103-TR3	28
4.3	Ostale uporabljene komponente	29
5	UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK.....	30
6	ZAHVALA.....	33
8	VIRI.....	34
8.1	Viri slik	35
9	AVTORJI RAZISKOVALNE NALOGE	37
10	PRILOGE	38
10.1	Vse sheme.....	38
10.2	Vse slike posnete pri sestavljanju modela	38
10.3	E-oblika raziskovalne naloge.	38

10.4	Arduino koda.....	38
10.5	Knjižnice za Arduino.....	38
10.6	Vsi materiali uporabljeni v raziskovalni.....	38

Kazalo slik

Slika 1:	Primer Led-diode, vir[1]	2
Slika 2:	Izgled tehnologije, lasten vir	3
Slika 3:	Slika delovanja Li-Fi-vezja, lasten vir	4
Slika 4:	Primer prenosa z ASK-modulacijo, lasten vir.....	9
Slika 5:	Primer prenosa z FSK-modulacijo), lasten vir	9
Slika 6:	Primer prenosa z PSK-modulacijo, lasten vir	10
Slika 7:	IR- fotodioda, vir[2]	10
Slika 8:	Arduino Mega, lasten vir.....	11
Slika 9:	Vežanje nekaj LED-diod na Arduino, lasten vir	12
Slika 10:	Pimer vezja trimer-upora in LED-diode, lasten vir.....	12
Slika 11:	IR-oddajno in sprejemno vezja TFDU6103-TR3, lasten vir.....	13
Slika 12:	Pripomočki za spajkanje, lasten vir.....	13
Slika 13:	Uporabljeni deli v vezju, lasten vir	14
Slika 14:	Vežje TFDU6103-TR3 na Arduino ploščici, lasten vir	15
Slika 15:	Režkanje tiskanega vezja, lasten vir.....	16
Slika 16:	Vse vezano na PCB ploščico, lasten vir.....	16
Slika 17:	Povezava LCD-zaslona na Arduino, vir[3]	17
Slika 18:	Poizkušanje možnosti izpisa zaslona, lasten vir.....	17
Slika 19:	Arduino in vezje v natisnjem ohišju, lasten vir	18
Slika 20:	Sestavljen model s novo IR-LED-diodo, lasten vir.....	18
Slika 21:	Vrednosti na sprejemniku se niso spreminjale, lasten vir	19
Slika 22:	Shema načrta za LI-Fi-vezje, vir[4]	20
Slika 23:	Fotoupor na tiskanem vezju, lasten vir	20
Slika 24:	Del kode za čiščenje pomnilnika, lasten vir.....	21
Slika 25:	Slika LED-diod, kot svetilka za prenos podatkov, lasten vir	21
Slika 26:	Shema končanega vezja, lasten vir.....	22
Slika 27:	Slika makete prereza hiše, lasten vir	23
Slika 28:	Laser povezan na Arduino Uno, lasten vir.....	24
Slika 29:	Koda s Switch zanko za pošiljanje podatkov, lasten vir	25
Slika 30:	Koda s Switch zanko za prepoznavanje sprejetih podatkov, lasten vir.....	26
Slika 31:	Odprta vrata (angl. porti) in vključena knjižnica za LCD-zaslona, lasten vir.....	27
Slika 32:	Mikro-krmilnik Arduino Uno, vir [5]	27
Slika 33:	Slika Integrirano vezje TFDU6103-TR3, vir[6]	28
Slika 34:	Blokovna shema IR-transcieverja	29
Slika 35:	Mlada raziskovalca Luka Lah in Samo Pungaršek Pritrznik (z leve proti desni)	37

Kazalo tabel

Tabela 1:Tabela hitrosti prenosa različnih brezžičnih tehnologij, vir[1]	5
Tabela 2: Primerjava različnih tehnologij, vir[1].....	5
Tabela 3: Lastnosti mikro-krmilnika Arduino Una	28
Tabela 4: Priključki integriranega vezja TFDU6103-TR3	29
Tabela 5: Hitrost delovanja integriranega vezja TFDU6103-TR3	29

1 UVOD

Prenašanje podatkov med različnimi napravami je danes vsakdanja dejavnost in potreba med ITK-uporabniki. Trenutna brezžična omrežja, ki nas povezujejo z internetom, so v nekaterih primerih tudi zelo počasna. Predvsem takrat, kadar se številne naprave povežejo na eno brezžično dostopno točko. Rešitev za ta problem je uporaba Li-Fi-tehnologije. Za to raziskovalno nalogo sva se odločila, ker naju je zanimalo, kako hitro povezavo lahko dosežemo z Li-Fi-tehnologijo ter kako lahko Li-Fi-tehnologijo primerjamo z današnjo brezžično tehnologijo. Želela sva tudi razumeti, kako deluje Li-Fi-tehnologij in tudi izdelati lastno različico.

1.1 Hipoteze

Pred raziskovanjem smo si zastavili naslednje hipoteze:

1. Domnevamo, da je/bo izdelava lastnega prototipa Li-Fi-vezja cenovno stala manj od 100 €.
2. Izdelan prototip Li-Fi-vezja bo dosegal veliko večje hitrosti v primerjavi z WI-Fi-tehnologijo.
3. Motnje zunanje svetlobne ali razsvetljave bodo minimalne oziroma jih ne bo.
4. Predvidevamo, da bo razdalja med prototipi Li-Fi-vezji močno vplivala na hitrost.
5. Predvidevamo, da je izdelan prototip Li-Fi-vezja varen za uporabo in se vanj ne da vdreti.

1.1.1 Ideja za izdelavo lasnega Li-Fi-vezja

Za izdelavo te raziskovalne naloge smo se odločili zato, ker smo želeli izboljšati sedanjo hitrost tehnologij in jo omogočiti za praktični namen. Želeli smo uporabiti takšno tehnologijo, ki je namenjena za komunikacijo na področju mobilnikov in prenosnikov. In tako so se kar hitro pojavila vprašanja, kot so na primer: kako hitra je LI-FI-tehnologija, ali imajo mobilniki senzorje, ki lahko razberejo takšno IR-svetlobo, na kakšno razdaljo deluje, kakšne so prednosti in slabosti? Na podlagi teh vprašanj smo se tako odločili za izdelavo te raziskovalne naloge.

2 PREGLED STANJA TEHNIKE

Po kratkem pregledu smo ugotovili, da je kar nekaj raziskovalnih nalog, ki predstavljajo novejšje tehnologije. To je bil tudi eden od razlogov za izdelavo te raziskovalne naloge. Ugotovili pa smo tudi, da še nobeden do sedaj ni za temo raziskovalne naloge izbral Li-Fi. Kljub temu, da je v Sloveniji minimalni skupek podatkov o tej tehnologiji, pa imamo kar nekaj informacij na angleških spletiščih. V to raziskovalno nalogo smo se usmerili, ker so nas zanimale novejšje tehnologije na področju računalništva. Vendar ker smo vsi oboževalci programiranja in praktičnih stvari, smo se odločili za izdelavo izdelka za praktično uporabo, ki bi lahko koristila nam in ljudem okoli nas.

2.1 Kaj je LI-FI?

Li-Fi-tehnologija je nov pristop brezžičnega prenosa podatkov, ki namesto radijskih valov standardne Wi-Fi-povezave, uporablja svetlobno valovanje, in sicer s posebnimi LED-svetilkami. Li-Fi (angl. Light Fidelity) je prenos podatkov preko svetlobe (slika 1). To svetlobo oddaja LED-dioda tako hitro, da je človeško oko sploh ne more zaznati. Li-Fi-idejo je prvič predstavil nemški fizik Harald Hass, ki je Li-Fi-tehnologijo poimenoval "svetlobni prenos podatkov". Li-Fi-tehnologija je prihodnost prenosa podatkov za prenosne računalnike, tablice itd. Zanj je značilno, da lahko hitrost prenosa podatkov preide tudi čez 1 Gbps.



Slika 1: Primer led-diode, vir[1]

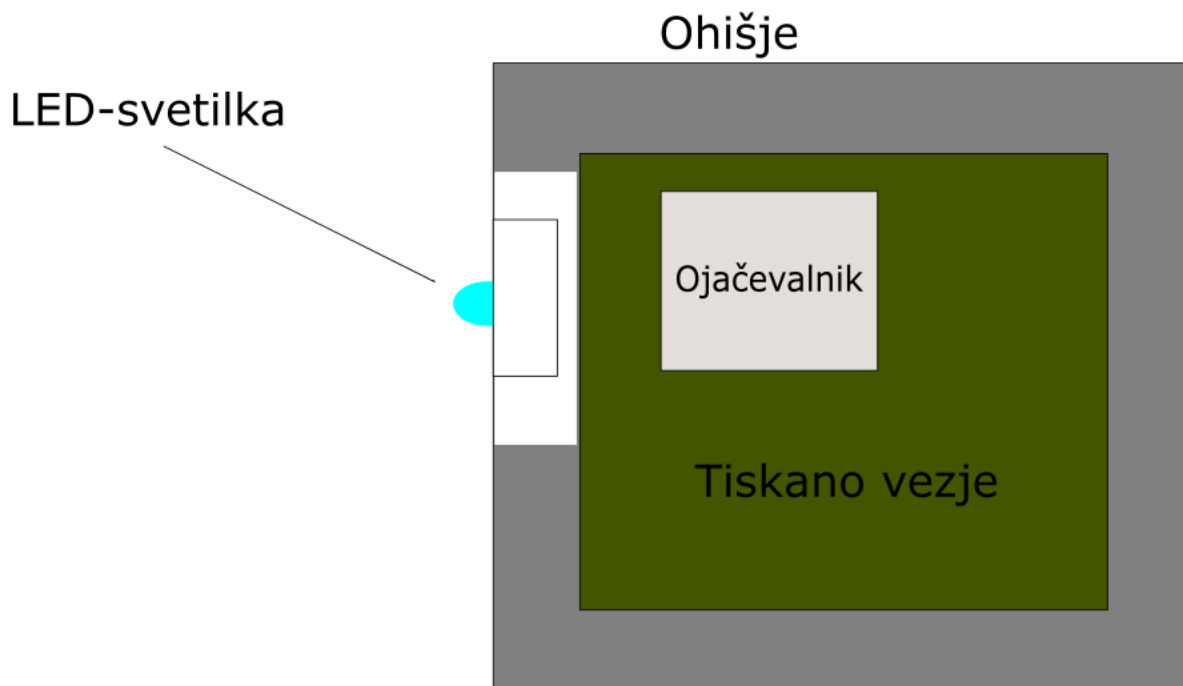
2.2 Delovanje tehnologije

LED-sijalko lahko ugašamo in prižigamo za ustvarjanje digitalnih nizov različnih kombinacij enk in ničel (1 in 0). Svetleče diode se uporabljajo kot vir podatkov. Svetloba se zdi konstantna za človeško oko zaradi hitrosti utripanja LED-sijalke. Komunikacijska hitrost, večja od 100 Mbps, je mogoča z uporabo hitrosti LED-sijalk. Hitrost prenosa podatkov se lahko poveča s pomočjo vzporednega prenosa podatkov z nizom LED-sijalk, kjer vsaka LED-sijalka prenaša drug pretok podatkov.

Oddajnik sistema Li-Fi sestavljajo 4 primarne komponente (slika 1):

1. LED-sijalka
2. ojačevalnik (PA – Power Amplifier)
3. tiskano vezje (PCB – Printed Circuit Board)
4. ohišje

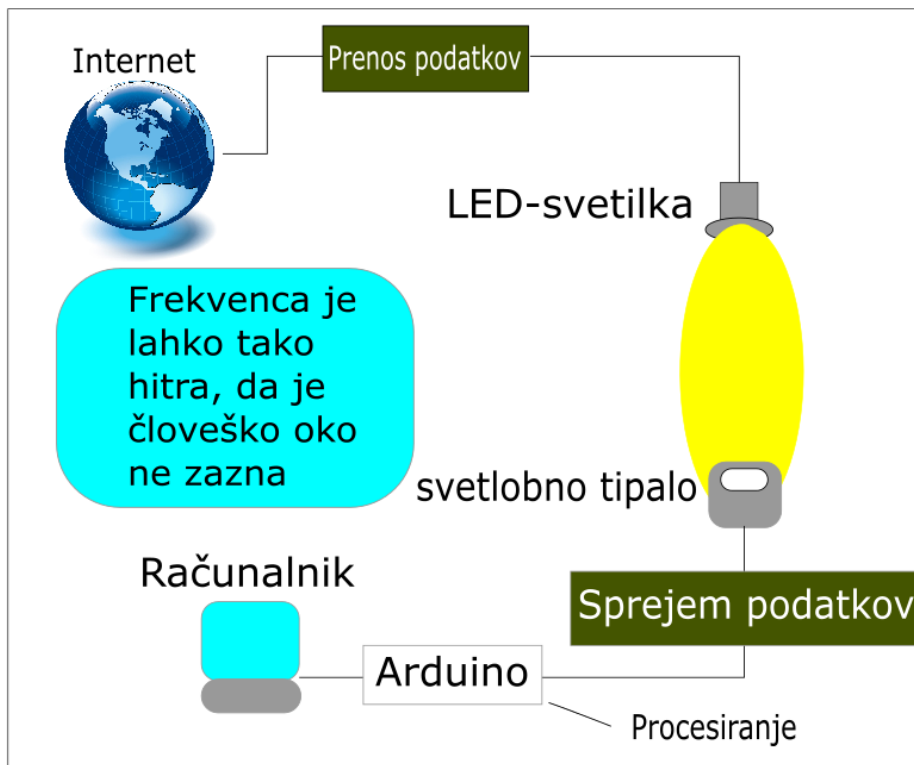
Tiskano vezje krmili električne vhode in izhode sijalk in jih hrani v mikrokrmilnik, ki se uporablja za upravljanje različnih funkcij sijalk. Signal generira ojačevalnik, ki v LED ustvari električno polje in se usmeri okoli sijalke. Visoka koncentracija energije v električnem polju upari vsebino sijalke v plazemsko stanje; ta nadzorovana plazma ustvarja intenziven vir svetlobe.



Slika 2: Izgled tehnologije, lasten vir

Logika delovanja je zelo preprosta. Če je LED-svetlobni vir vklopljen, se prenaša digitalni 1. Če je LED-svetlobni vir izključen, pa se prenaša digitalni 0. Te visoko svetilne LED-vire lahko hitro izklopimo in hitro vklopimo, kar nam daje zelo veliko možnosti za prenos podatkov preko svetlobe. Osnovni način delovanja Li-Fi je zelo preprosto. Na enem koncu je svetlobni oddajnik, na primer

LED, na drugi strani pa svetlobno tipalo (svetlobni senzor). Svetlobno tipalo (zazna binarno 1, ko je LED-sveti vklopljena; in binarno 0, ko je LED-ne sveti. Če želimo prenašati sporočilo, mora LED utripati večkrat ali pa uporabimo niz svetlobnih virov različnih valovnih dolžin oz. različnih barv, da bi dobili n hitrosti prenosa podatkov v obsegu več sto megabitov na sekundo (slika 3).



Slika 3: Slika delovanja Li-Fi-vezja, lasten vir

Podatki se lahko kodirajo s spreminjanjem hitrosti utripanja LED-diode, da se ustvarijo različni nizi 1 in 0. Po navadi je hitrost moduliranja svetlobe LED-sijalke tako visoka, da človeško oko tega ne opaziti, in se zdi, da LED-sijalke oddajo konstantno svetlobo.

Svetleče diode (običajno označene kot LED, ki se nahajajo v prometnih in uličnih svetilkah, zavornih lučeh, napravah za daljinsko upravljanje in v številnih drugih aplikacijah) je mogoče vklopiti in izklopiti hitreje, kot jih lahko človeško oko zazna, zaradi česar se vir svetlobe prikaže neprekinjeno, četudi je dejansko "utripanje". Aktivnost sijalke, ki se zdi nevidna, omogoča prenos podatkov z binarnimi kodami: vklop LED je logična "1", izklop je logična "0". S spreminjanjem hitrosti, na kateri utripajo in izklaplajo svetleče diode, tako se informacije lahko vnašajo ali kodirajo v svetlobo kot različne kombinacije enk in ničel. Ta način uporabe hitrih impulzov svetlobe za brezžično prenašanje podatkov je tehnično označen kot VLC (angl. Visible Light Communication), čeprav je priljubljena kratica Li-Fi, ker lahko tako konkurira svojemu radijskemu nasprotniku Wi-Fi.

2.3 Primerjava Li-Fi in Wi-Fi

Li-Fi je ime za opis komunikacijske tehnologije vidne svetlobe, ki se uporablja za brezžično komunikacijo visoke hitrosti. To ime je dobilo zaradi podobnosti z omrežjem Wi-Fi. Wi-Fi deluje dobro za splošni brezžični prenos podatkov znotraj in zunaj zgradb, Li-Fi pa je idealen za brezžično pokritost z visoko gostoto podatkov v omejenem območju ali prostoru in za odpravo težav z radijskimi motnjami. Tabela 1 prikazuje primerjavo hitrosti prenosa različnih brezžičnih tehnologij (tabela 1).

Tabela 1: Tabela hitrosti prenosa različnih brezžičnih tehnologij, vir[1]

Tehnologija	Hitrost
Wi-Fi – IEEE 802.11n	150 Mbps
Bluetooth	3 Mbps
IrDA	4 Mbps
Li-Fi	>1 Gbps

Tabela 2 vsebuje primerjavo različnih tehnologij, ki se uporabljajo za povezovanje s končnim uporabnikom. Wi-Fi trenutno ponuja visoke hitrosti prenosa podatkov. Standard IEEE 802.11.n v večini izvedb zagotavlja prenosno hitrost do 150 Mbit/s, čeprav je praktično sprejeta zelo majhna hitrost.

Tabela 2: Primerjava različnih tehnologij, vir[1]

Tehnologija	Povezava	Varnost	Doseg	Vpliv	Stroški	Razširitev pasovne širine
Wi-Fi	brezžična	dobra	odlična	Neznano	visoki	omejena
Hardwired	kabli	odlična	normalna	Ga ni	visoki	omejena
Li-Fi	brezžična	odlična	odlična	Ga ni	nizki	izjemna

2.4 Pomanjkljivosti z Wi-Fi

V nadaljevanju so pomanjkljivosti prenosa podatkov z radijskimi valovi:

- Zmogljivost:** Brezžični podatki se prenašajo prek radijskih valov, ki so omejeni. Ima omejeno pasovno širino. S hitro rastočim svetom in razvojem tehnologij, kot so 3G, 4G in tako naprej, zmanjkuje namreč pasovne širine (angl. bandwidth).
- Učinkovitost:** Obstaja 1,4 milijona mobilnih radijskih baznih postaj, ki porabijo veliko količino energije. Večina porabljene energije se uporablja za hlajenje bazne postaje namesto prenosa. Zato je učinkovitost teh baznih postaj le 5 %.

3. **Razpoložljivost:** Tehnologija Wi-Fi ni razpoložljiva ali priporočljiva na vseh področjih. Ni priporočljivo uporabljati mobilnih telefonov v letalih in na mestih, kot so petrokemične tovarne in bencinske črpalke.
4. **Varnost:** Radijski valovi lahko prodrejo skozi stene. Lahko jih prestrežemo. Če ima nekdo znanje in slabe namene, ga lahko zlorabi oz. »prisluškuje«. To povzroča veliko varnostno tveganje za uporabo Wi-Fi-omrežij.

2.5 Prednosti Li-Fi

Tehnologija Li-Fi temelji na LED ali drugem viru svetlobe za prenos podatkov. Prenos podatkov je lahko s pomočjo vseh vrst elektromagnetnega valovanja, ne glede na del spektra, ki mu pripadajo. To pomeni, da lahko elektromagnetno valovanje pripada delu nevidnega, ultravijoličnega ali vidnega dela spektra. Tudi hitrost komunikacije je več kot dovolj za prenos filmov, iger, glasbe in vsega v občutno krajšem času, kot pri Wi-Fi-prenosu.

Prav tako Li-Fi odpravi omejitve, ki jih je uporabnik dobil prek omrežja Wi-Fi.

1. **Zmogljivost:** Svetloba ima 10000-krat širšo pasovno širino, kot radijski valovi. Tudi viri svetlobe so že nameščeni. Torej, Li-Fi ima boljšo kapaciteto in tudi oprema je že na voljo.
2. **Učinkovitost:** Prenos podatkov z uporabo Li-Fi je zelo cenovno ugodna. LED-svetlobni viri porabijo manj energije in so zelo učinkoviti.
3. **Razpoložljivost:** razpoložljivost ni problem, saj so svetlobni viri prisotni povsod. Za takšno tehnologijo je na svetu milijarda žarnic in svetilk; treba jih je samo zamenjati z LED-svetilkami in ustreznim vezjem za pravilen prenos podatkov.
4. **Varnost:** svetlobni valovi ne prodrejo skozi stene. Torej jih ni mogoče prestreči in zlorabiti.

S prihodom Li-Fi zdaj ni obvezno biti v območju, ki ima Wi-Fi dostop do interneta. Samo stati moramo pod kakršno koli obliko svetlobe in tako lahko brskamo po internetu, saj je povezava vzpostavljena, če je prisotna svetloba in ustrezno vezje za modulacijo le-tega.

2.6 Pomanjkljivost Li-Fi

Ena od glavnih pomanjkljivosti te tehnologije je, da vidna svetloba ne more prodreti čez stene in druge neprosojne materiale, kot lahko radijski valovi. Torej, končna naprava s tehnologijo Li-Fi (s pomočjo vgrajenega fotosprejemnika) nikoli ne bo tako priročna kot naprava, ki omogoča tehnologijo Wi-Fi na prostem. Prav tako je še ena pomanjkljivost, da deluje le v neposrednem vidnem polju.

Kljub temu bi se Li-Fi lahko pojavil kot nadgradnja pasovne širine radijskih valov. In zagotovo bo prva izbira za dostop do interneta v zaprtem prostoru in ob nižjih stroških.

2.7 Uporaba Li-Fi

Obstajajo številne uporabe za to tehnologijo, od javnega dostopa, do interneta preko uličnih svetilk do avtomatsko vodenih avtomobilov, ki komunicirajo skozi njihove luči itd. Uporaba Li-Fi se lahko razširi na področjih, kjer tehnologija Wi-Fi nima svoje prisotnosti, kot so bolnice, zdravstveni domi, elektrarne in različna druga področja. Ker Li-Fi uporablja le svetlobo, se lahko varno uporablja v letalih in bolnišnicah, kjer je Wi-Fi prepovedan, ker so nagnjeni k motenju radijskih valov. Vse ulične svetilke je mogoče nadgraditi na svetilke za Li-Fi prenos podatkov. Zaradi tega bo internet mogoče dostopati na katerem koli javnem mestu in ulici.

Možnosti, kako lahko uporabimo Li-Fi:

- **Izobraževalni sistemi:** Li-Fi je najnovejša tehnologija, ki omogoča hiter dostop do interneta. Torej lahko nadomesti Wi-Fi v izobraževalnih ustanovah in v podjetjih, tako da lahko vsi ljudje uporabljajo Li-Fi z isto hitrostjo, ki je namenjena na določenem območju.
- **Medicinske aplikacije:** Operacijske dvorane ne dovoljujejo Wi-Fi zaradi težav s sevanjem. Uporaba Wi-Fi v bolnišnicah posega v mobilno napravo in računalnik, ki blokira signale za opremo za spremljanje. To je lahko nevarno za bolnikovo zdravje.
- **Cenejši internet v letalih:** Potniki, ki potujejo v zrakoplovih, dobijo dostop do interneta z nizko hitrostjo. Wi-Fi se ne uporablja, ker lahko moti navigacijske sisteme pilotov. V zrakoplovih se lahko Li-Fi uporablja za prenos podatkov. Li-Fi lahko brez težav zagotovi hitri internet prek vsakega svetlobnega vira, kot je žarnica ali sijalka itd., ki je prisotna v letalu.
- **Podvodna uporaba:** Podvodni ROV-i (slov. daljinsko krmiljena vozila) delujejo z dolgimi kabli, ki napajajo vozilo in omogočajo sprejemanje signalov od svojih pilotov. Toda kabel, ki se uporablja v ROV, pogosto ni dovolj dolg, da bi jim omogočili raziskovanje večjih območij. Če bi bile njihove žice zamenjane s svetlobo, recimo iz potopljene sijalke z veliko močjo, bi lahko prejeli veliko močnejše signale in bi posledično omogočali veliko lažje raziskovanje podvodnih območij. Lahko bi uporabljali tudi žaromete za komuniciranje med seboj, samostojno obdelavo podatkov in redno pošiljanje ugotovitev nazaj na površino. Li-Fi lahko dela celo pod vodo, kjer Wi-Fi popolnoma ne uspe prodreti zaradi gostote vode, s tem pa se odpirajo velike možnosti, npr. za vojaške operacije.
- **Upravljanje z nesrečami:** Li-Fi se lahko uporablja kot močno sredstvo komuniciranja v času nesreče, kot sta potres ali hurikan. Povprečni ljudje morda ne poznajo protokolov med takimi

nesrečami. Postaje podzemne železnice in predori, skupna mrtva območja za večino komunikacij v sili, ne povzročajo ovir za Li-Fi. Tudi v normalnih obdobjih lahko Li-Fi-sijalka omogoča poceni hiter dostop do interneta v vsakem kotičku.

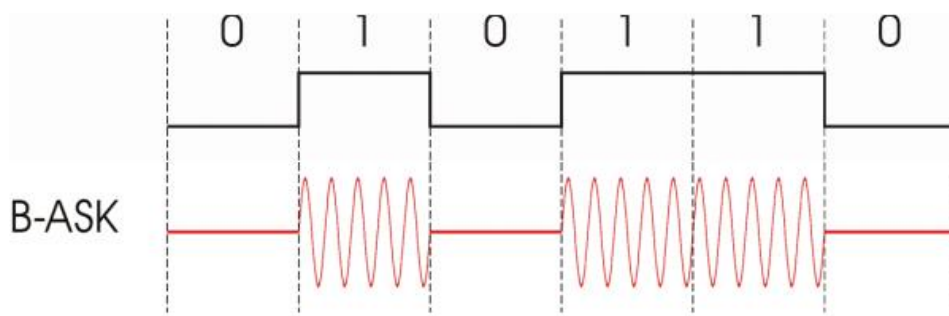
- **Uporaba na občutljivih področjih:** Elektrarne potrebujejo hitre in medsebojno povezane podatkovne sisteme, tako da je mogoče spremljati povpraševanje, integriteto omrežja in temperaturo jedra (v primeru jedrskih elektrarn). Wi-Fi in mnogi drugi tipi sevanj so slabi za občutljiva območja okoli elektrarn. Li-Fi bi lahko ponudil varno, bogato povezljivost za vsa področja teh občutljivih lokacij. To lahko prihrani denar v primerjavi s trenutno izvedenimi rešitvami. Prav tako bi se lahko zmanjšal pritisk na lastne rezerve elektrarn. Li-Fi se lahko uporablja tudi v naftnih ali kemičnih obratih, kjer bi lahko bili drugi prenosi ali frekvence nevarne.
- **Upravljanje prometa:** V prometu je mogoče uporabiti Li-Fi, ki bo komuniciral z LED-lučmi avtomobilov, s katerimi bi lahko bolje upravljali promet in zmanjšali število nesreč. LED-luči lahko opozorijo voznike tudi, če so druga vozila preblizu.
- **Zamenjava za druge tehnologije:** Li-Fi ne deluje z radijskimi valovi. Torej ga je mogoče preprosto uporabljati v krajih, kjer so Bluetooth, infrardeči, Wi-Fi in druge tehnologije prepovedane.

2.8 Digitalna modulacija

Poznamo več vrst modulacij, kot so na primer amplitudna, fazna in frekvenčna modulacija. Na podlagi modulacije lahko pošljemo poljuben podatek brezžično ali žično. Predstavlja, kako informacijo zapišemo v signal. Takšna vrsta modulacije je pomembna, saj je omrežje Li-Fi brezžično in potrebuje način, da potuje signal od ene LED-diode in sprejemnika do drugega.

2.8.1 Amplitudna modulacija ASK

Kratice ASK je angleški sinonim za amplitudno modulacijo, ki pomeni »Amplitude Shift Keying« oziroma s slovenskim izrazom: modulacija z amplitudnim pomikom (slika 4). Ta vrsta modulacije je najpreprostejša, saj za kodiranje signala potrebujemo samo en signal, ki ima dovolj visoko nosilno frekvenco, da dobimo ovojnico originalnega signala. Ta nam služi, da lahko na sprejemniku signal dekodiramo. Oddaja se tako, da pri bitu 1 odda neko frekvenco, ko pa je bit 0, pa ne odda frekvence.

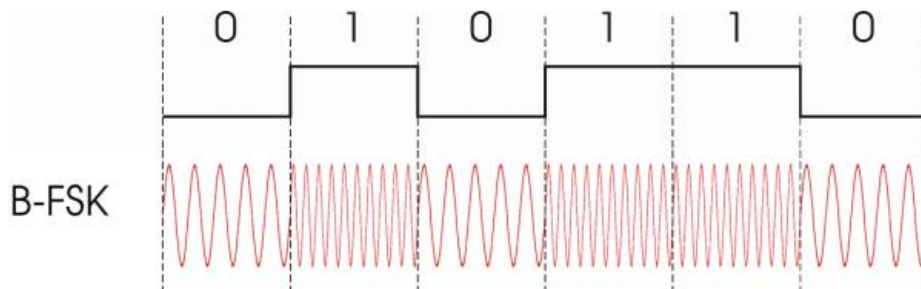


Slika 4: Primer prenosa z ASK-modulacijo, lasten vir

2.8.2 Frekvenčna modulacija FSK

Kratice FSK je angleški sinonim za frekvenčno modulacijo, ki pomeni »Frequency Shift Keying« oziroma s slovenskim izrazom modulacija s frekvenčnim pomikom (slika 5).

Ta vrsta modulacije je najzahtevnejša, saj potrebujemo spreminjanje frekvenca, ki jo mora sprejemnik sprejeti. Oddaja se tako, da pri bitu 1 daje eno frekvenco, ko pa je bit 0, pa oddaja drugo, bodisi hitrejšo ali pa počasnejšo frekvenco. Torej se pri spremembi bita spremeni frekvenca oddanega signala.

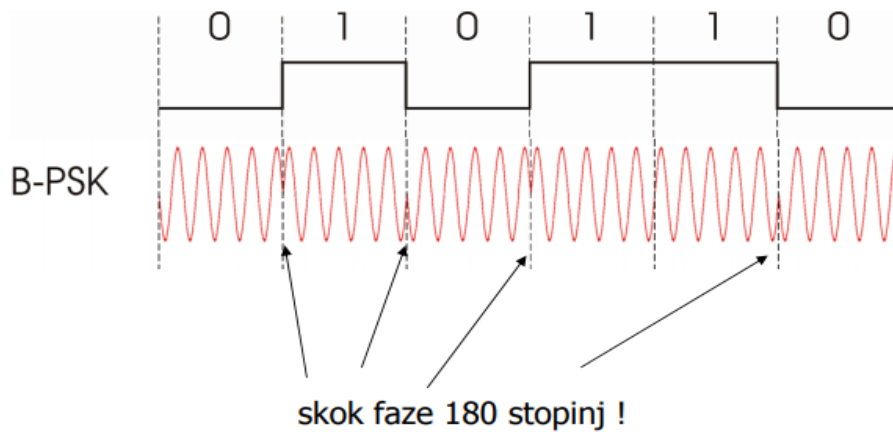


Slika 5: Primer prenosa z FSK-modulacijo, lasten vir

2.8.3 Fazna modulacija PSK

Kratice PSK je angleški sinonim za fazno modulacijo, ki pomeni »Phase Shift Keying« oziroma s slovenskim izrazom modulacija s faznim pomikom (slika 6).

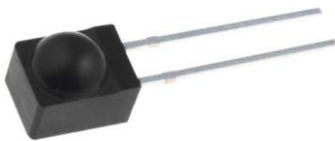
Ta vrsta modulacije je tehnično zahtevnejša, saj za kodiranje ni več tako preprosta, ker sicer enaki frekvenci obrača fazo (takšen signal mora sprejemnik sprejeti). Ta vrsta je danes zelo uporabljena, saj jo uporabljamo pri usmerjevalnikih. Oddaja se tako, da pri bitu 1 daje neko frekvenco, ko pa je bit 0, pa se faza frekvenca obrne za 180 stopinj.



Slika 6: Primer prenosa s PSK-modulacijo, lasten vir

2.9 IR-fotodioda

“Fotodioda je polprevodniški element, na katerem se ob osvetlitvi z vidno, v nekaterih izvedbah pa tudi infrardečo, ultravijolično ali rentgensko svetlobo, pojavi električna napetost (oz. steče električni tok), ki je odvisen od moči vpadne svetlobe (slika 7). Za delovanje fotodiode je (za razliko od običajne polprevodniške diode) bistven notranji fotoelektrični pojav (wiki, 2017).



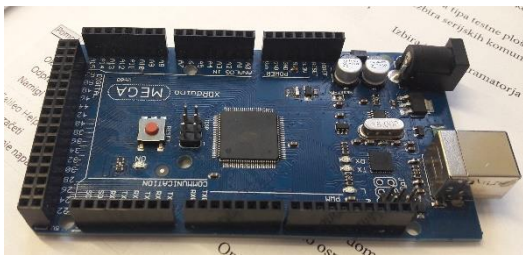
Slika 7: IR-fotodioda, vir[2]

3 IZDELAVA LASTNEGA LI-FI-VEZJA Z INTEGRIRANIM IR-SPREJEMNIKOM IN ODDAJNIKOM TFDU6103-TR3

V nadaljevanju sledi izdelava lastnega Li-Fi-vezja. Izdelava je razdeljena na dva dela: sestavljanje vezja in opis kode Arduina.

3.1.1 Sestavljanje lastnega Li-Fi-vezja

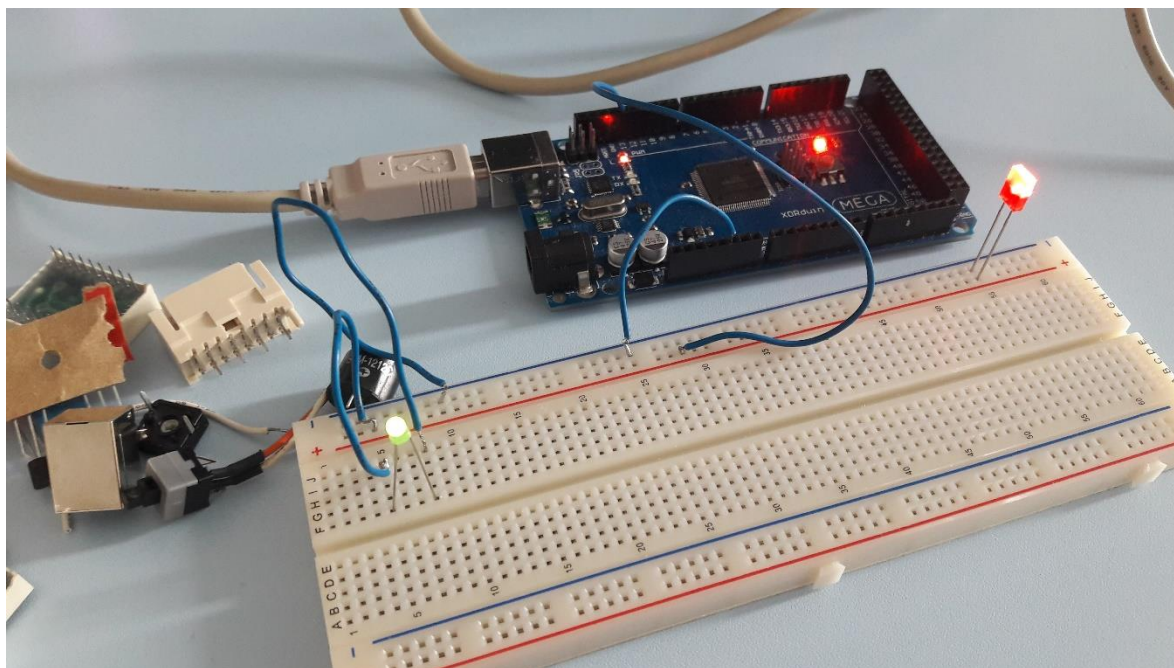
Li-Fi smo poizkusili izdelati s preprosto integriranim IR-sprejemnikom in oddajnikom vezja TFDU6103-TR3, Arduino vezjem Mega (lahko bi tudi z manjšim Arduino USB2 SERIAL) in USB 2.0 standardom. To bomo poskušali povezati z enakim modulom, ki bo v drugem računalniku. Arduino smo povezali na piklučka Tx, Rx integriranega IR-sprejemnika in oddajnika vezja TFDU6103-TR3 in nato Arduino dodali nekaj knjižnic za telekomunikacijo tako, da bi bil prenos dvosmerni (angl. bidirectional) (slika 8).



Slika 8: Arduino Mega, lasten vir

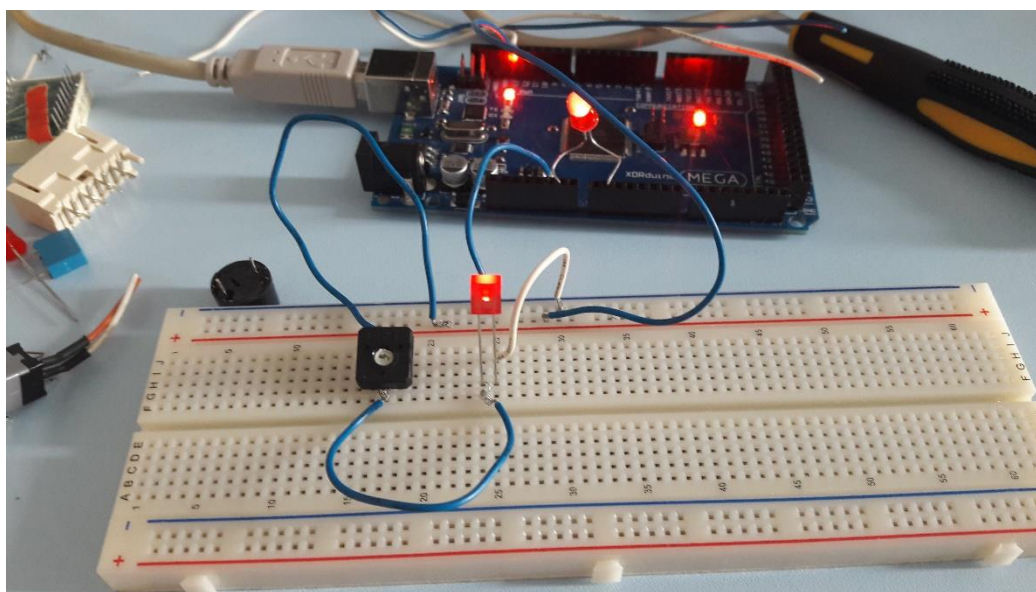
Na sliki je vidno, da ima Arduino veliko priključkov. Ločimo jih na analogne in digitalne ter na priključke s stalno napetostjo, npr. 5 V, 3.3 V ... Analogne priključke lahko uporabljamo za napajanje in so s stalno napetostjo. Na digitalnih priključkih pa lahko nastavljamo velikost napetosti, ki omogoča npr. različno jakost svetlenja LED-diode.

Najprej smo začeli s spoznavanjem Arduino vezja, saj še nismo imeli predhodnega znanja. Začeli smo z ustvarjanjem preprostih ukazov, ki so nam omogočali utripanje LED-diode. Nato pa smo nadaljevali s kompleksnejšimi primeri. S to raziskovalno nalogo smo na šoli prvi, ki bomo poizkusili izdelati tehnologijo Li-Fi na podlagi IR-sprejemnika in oddajnika (čeprav je tehnologija Li-Fi definirana na podlagi vidne svetlobe) (slika 9).



Slika 9: Vezanje nekaj LED-diod na Arduino, lasten vir

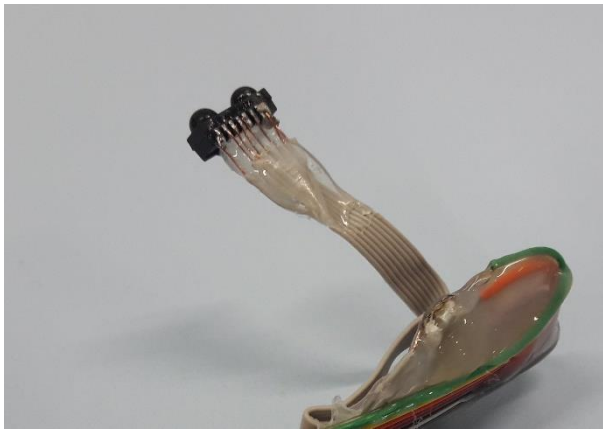
Nato smo nadaljevali z vezanjem kompleksnejših primerov z LED-diodami, kot so na primer dodajanje trimera upora, LED-diodam, raziskovanje vnosov ... Večkrat smo naredili tudi kakšen merilnik toka (vezje kot ampermeter, ki podatke izpisuje, npr. vrednosti toka na serijski vmesnik) ... (slika 10).



Slika 10: Pimer vezja trimer upora in LED-diode, lasten vir

Tako je prišel čas, ko so prispeli naši IR-oddajno in sprejemno vezje TFDU6103-TR3 (angl. transceiver). Vezje TFDU6103-TR3 je v SMD-obliki, zato jih je bilo izjemno težko spajkati. Za spajkanje tako majhnih delov smo uporabljali povečevalno steklo in spajkalnik z majhno konico. Za

žico smo uporabili kar star kabel računalniške disketne enote, saj je bil zelo tanek ploščat kabel in je imel več tankih žic (slika 11).



Slika 11: IR-oddajno in sprejemno vezja TFDU6103-TR3, lasten vir

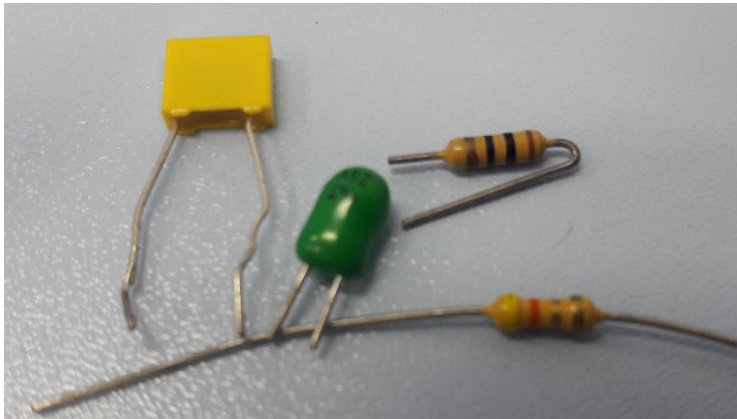
Velikosti in podatke za to IR-oddajno in sprejemno vezje TFDU6103-TR3 je v popisu materiala.

Cilj naloge je bil, da bi prenašali podatke od enega vezja TFDU6103-TR3 na drugega. Vendar pa smo naleteli na veliko težav. Ker je bilo spajkanje izjemno težka naloga in ker smo morali biti natančni, smo spajkali zelo dolgo in tako ogrozili dele vezja, ki se je termično poškodovalo. Majhne žice smo nato prispajkali na ploščico in iz ploščice nadaljevali z večjimi žicami, ki so bile veliko lažje za spajkanje. Vse skupaj smo sedaj zalepili z vročim lepilom, da ne bi prišlo do kakršnegakoli popuščanja spajkalnih spojev (slika 12).



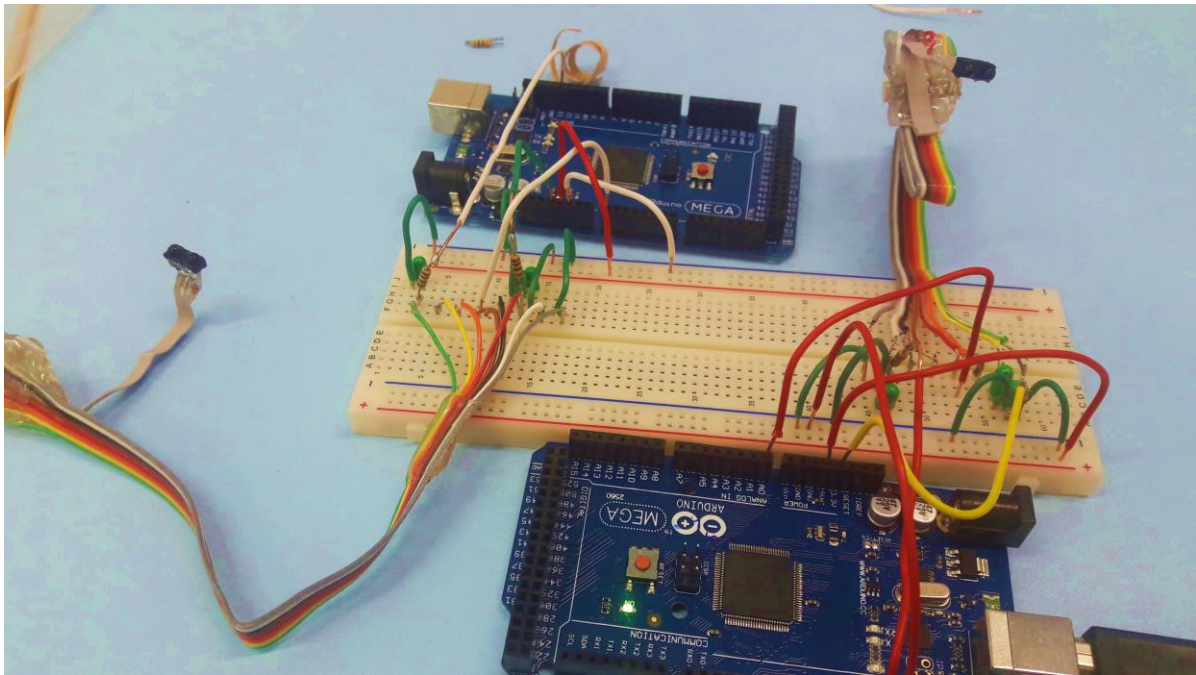
Slika 12: Pripomočki za spajkanje, lasten vir

Sedaj smo s pomočjo navodil in dokumentacije za vezje TFDU6103-TR3 naredili oddajno tiskano vezje z Arduinoom ter žicami. V dokumentaciji vezja TFDU6103-TR3 je bil narisana načrt, na katerega je bilo vidno, kako priključiti tri kondenzatorje in dva upora. Kondenzatorji so bili tanatalovi, saj bi ob napačni vezavi eksplodirali (slika 13). Ker nismo imeli originalnih povezovalnih žic za Arduino vezje, smo si jih naredili s pomočjo telefonskega kabla in navadnih žic in majhnih podaljškov, ki so bili narejeni za vtikanje v Arduino vrata (slika 14).



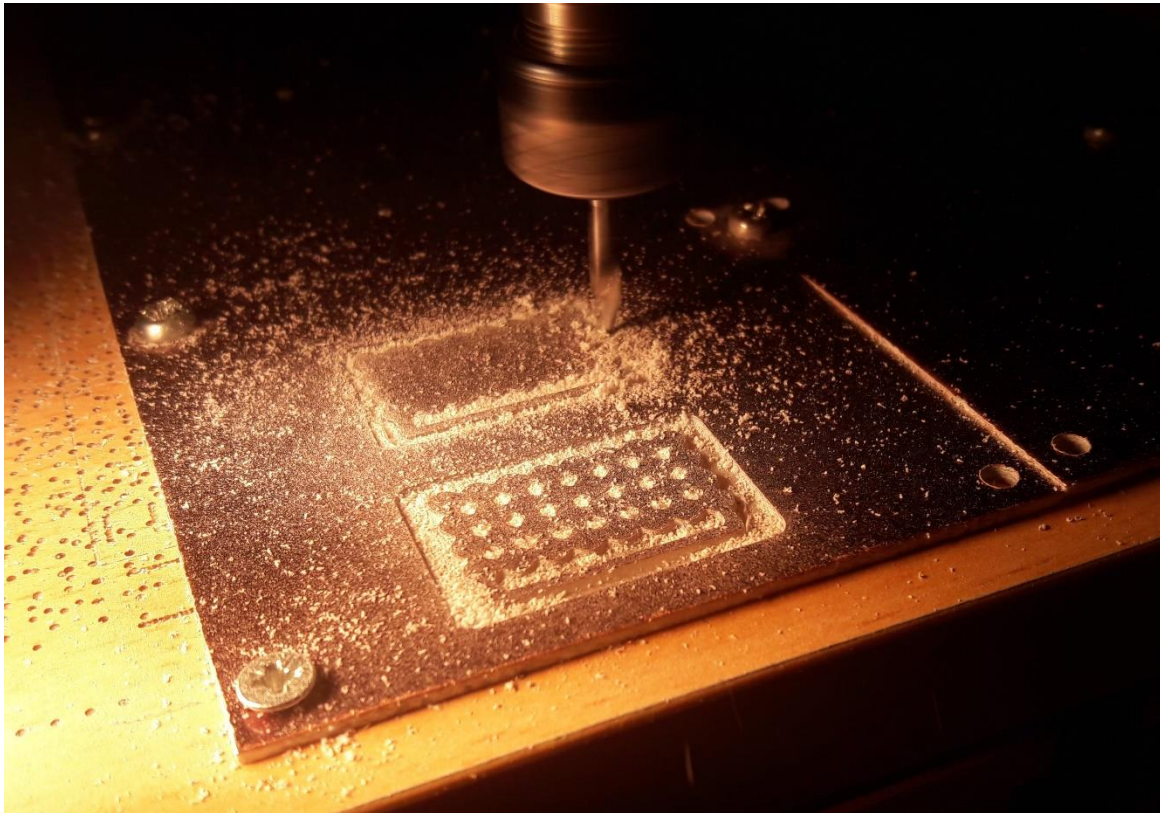
Slika 13: Uporabljeni deli v vezju, lasten vir

Ko smo vse povezali na Arduino ploščico, smo se lotili kode, da bi ugotovili, ali vezja TFDU6103-TR3 delujejo. Po naloženi kodi smo s pomočjo videokamere telefona preverjali, ali oddajne IR-diode delujejo. Ugotovili smo, da IR-svetlobo oddaja samo ena od diod. Razlog je bil verjetno dolgotrajno spajkanje, saj so bila ta vezja TFDU6103-TR3 zelo majhna (0,5 cm v dolžino). Ker smo videli, da so bili Arduino Mega zares veliki in zelo zmogljivi, smo za nadaljnjo delo uporabili manjšega brata Arduino Uno (slika 14).



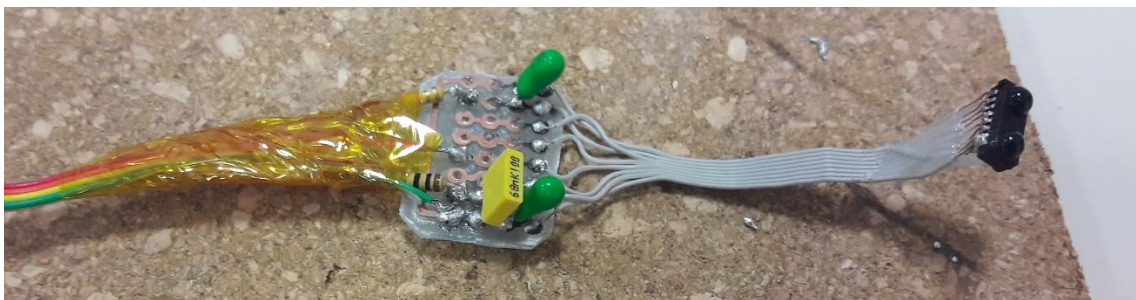
Slika 14: Vezje TFDU6103-TR3 na Arduino ploščici, lasten vir

Ker je Arduino ploščica ogromna, pa smo se odločili, da bomo rezkali lastno tiskano vezje. Najprej smo s pomočjo dokumentacije vezja TFDU6103-TR3 za ploščico narisali načrt v programu Sprintlayout. Nato pa smo programa Aspire datoteko s pomočjo računalnika izvozili na CNC-stroj, ki nam je rezkal ploščice. Na polovici izdelave se nam je odlomil sveder, tako da smo morali ploščice odrezati ročno s škarjami za rezanje. Luknje za spajke pa smo kasneje naredili z ročnim multifunkcijskim strojčkom (slika 15).



Slika 15: Rezanje tiskanega vezja, lasten vir

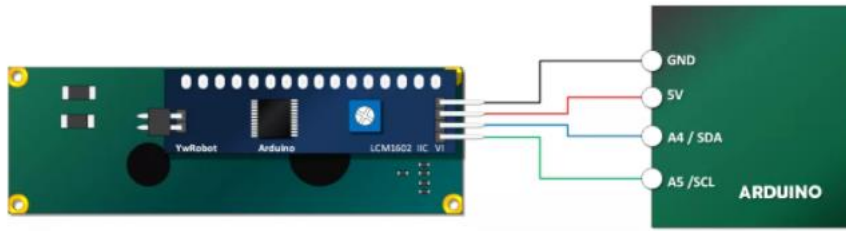
Tiskano vezje nam je bilo v veliko pomoč, saj je bila povezava komponent v vezje veliko lažja. Vse dele smo tako povezali v četrtini časa, kot bi ga porabili prej. Ko smo vse povezali, smo še enkrat poizkusili, če vse deluje (če je bil morda prej razlog za nedelovanje diod slaba povezava). Po drugem poizkusu pa je nehala delovati še zadnja IR-dioda v vezju TFDU6103-TR3. Tako smo vedeli, da bo IR-diode potrebno zamenjati z nečim drugim (slika 16).



Slika 16: Vse vezano na PCB-ploščico, lasten vir

Začeli smo uporabljati zaslon za Arduino, ki omogoča zapis 16 x 2 znakov. Zanj smo se odločili zato, ker smo želeli, da se pri prenosu podatkov neke prikazujejo/izpisujejo preneseni podatki. Za izpisovanje na takšen zaslon smo uporabili IC2-vmesnik, ki 13 priključkov zmanjša na samo 4. Novi

štirje priključki so V_{cc} /napajanje, GND/ozemljitev, SDA in SCL (slika 17).

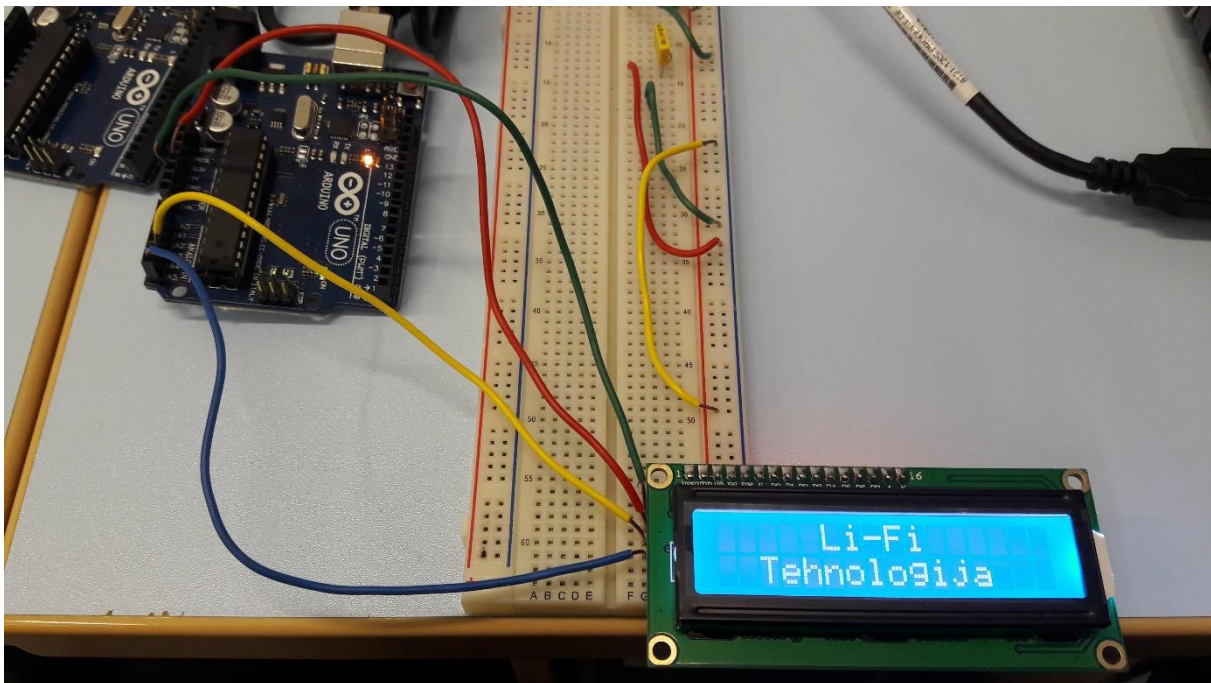


Slika 17: Povezava LCD-zaslona na Arduino, vir[3]

Za delovanje takšnega zaslona z vmesnikom I2C moramo naložiti knjižnico v .zip obliki, ki jo lahko potem v programu Arduino dodamo. Knjižnica za uporabo se imenuje NewLiquidCrystal_1.3.5.zip in nam omogoča, da naslovimo določene celice zaslona preko vmesnika.

Ko smo se naučili uporabe programske opreme, smo začeli uporabljati zaslon. Pisali smo različna sporočila. Naredili smo tudi, da se sprejeto besedilo predvaja na zaslonu. Ena od težav je bila, da ko smo zaslon dodali v neskončno zanko, je ta utripal, ker se je osveževal. To osveževanje smo lahko popravili z dodajanjem zamika (angl. delay) časa.

Če potrebujemo takojšnji odziv zaslona, ko se prenese podatek, mora biti zaslon vedno osvežen, kar posledično pomeni, da zaslon utripa (slika 18).

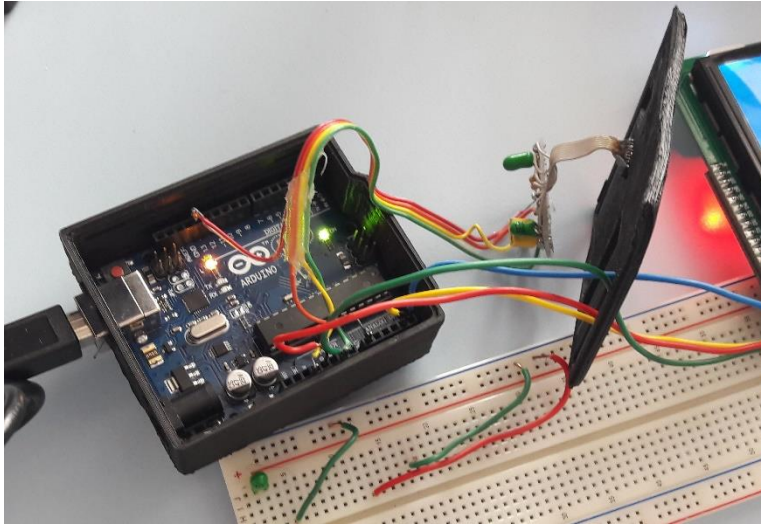


Slika 18: Poizkušanje možnosti izpisa zaslona, lasten vir

Izdelano tiskano vezje omogoča priključitev vezja TFDU6103-TR3 na Arduino s samo štirimi žicami. Za lepši izgled Arduino uno pa smo naredili 3D-ohišje in ga natakali s PLA-plastiko. Ohišje smo

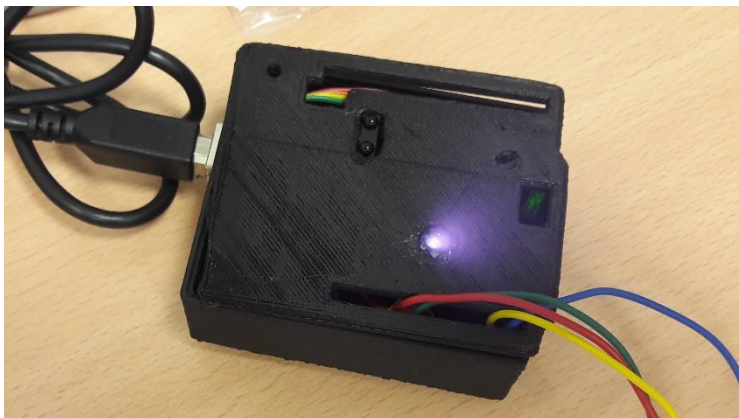
najprej našli in prenesli s spletišča Thingiverse tako, da je ustrezal meram Arduina, nato pa smo ga uredili v programu Blender. Nato pa smo ga obdelali v programu Blender, saj smo potrebovali prostor še za tiskano vezje in vse druge žice.

Po končanem sestavljanju vseh delov smo bili presenečeni, kako lepo je dejansko vse skupaj izgledalo (slika 19).



Slika 19: Arduino in vezje v natisnjem ohišju, lasten vir

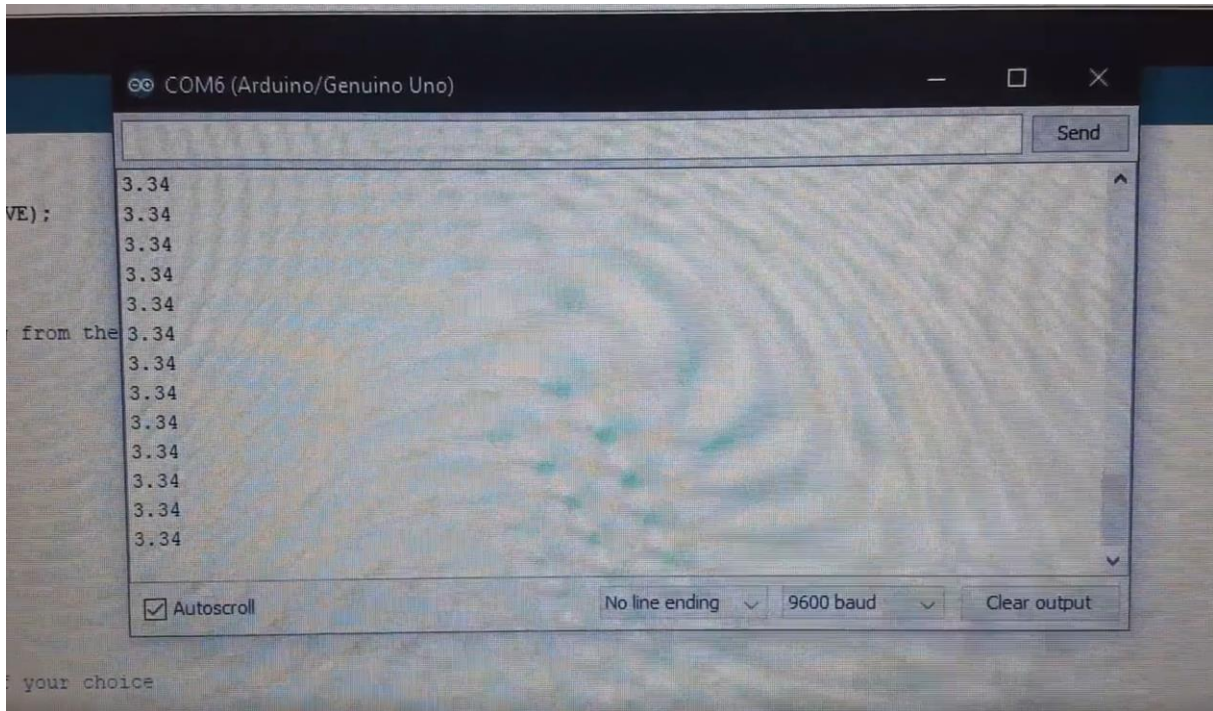
Zopet smo naleteli na novo težavo, ta je bila, da niti ena dioda ni več delovala, delovala pa sta dva sprejemnika. Zato smo na priključke, kjer je priklopljena IR-LED od vezja TFDU6103-TR3, priklopili novo in močnejšo IR-LED. Arduino smo potlej sprogramirali tako, da je ta IR-LED-dioda vedno svetila, da smo lahko preverili, če sprejemniki delujejo (Slika 20).



Slika 20: Sestavljen model z novo IR-LED-diodo, lasten vir

Nova težava pa je bila, da so sprejemniki delovali na 3,3 V, medtem ko je bila vrednost HIGH na Arduinu 5 V. To je problem zato, ker posledično ne moremo sprogramirati, kdaj sprejemnik zaznava podatke (verjetno se da, vendar nismo dovolj napredni, da bi to storili). Ker smo tudi na 3,3 V

poizkusili s prenašanjem kakršnih koli signalov in so bili vsi poizkusi neuspešni, smo se odločili, da bomo poizkusili tehnologijo narediti s pomočjo vidne svetlobe (kar je dejanska osnova Li-Fi-tehnologije) (slika 21).

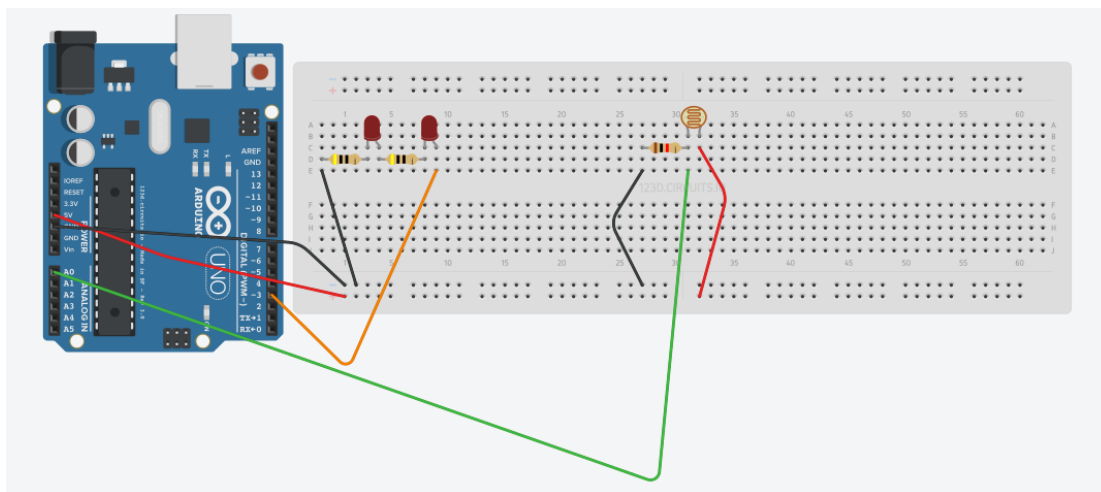


Slika 21: Vrednosti na sprejemniku se niso spreminjale, lasten vir

Tako smo ponovno pobrskali po spletu in ugotovili, kako približno se lahko naredi takšna tehnologija na primeru vidne svetlobe.

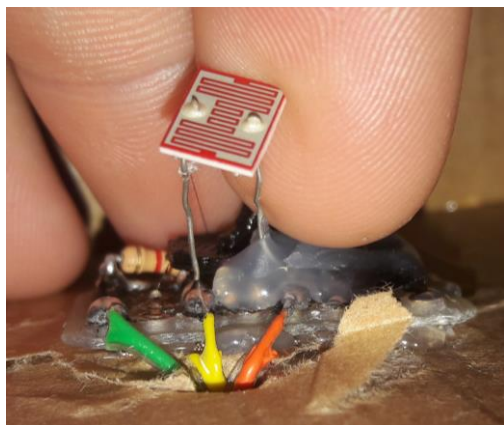
Razlog, da si dnevne svetlobe nismo izbrali že prej, so možne motnje. Vsak signal ima svoje motnje, tudi električni. Zato so večkrat zaščiteni z aluminijastimi zaščitami. Pri dnevni svetlobi je teh motenj zelo veliko, tako da lahko ta tehnologija deluje na zelo majhne razdalje. Ker nas je tudi zanimalo, kako daleč bo prenos potekal z laserjem, smo pridobili tudi laser.

Na internetu smo našli načrt, da lahko prenašamo podatke s pomočjo diode in fotoupora (slika 22).



Slika 22: Shema načrta za LI-Fi-vezje, vir[4]

S slike je razvidno, da je tehnologija narejena na samo enem Arduinu. To je zato, ker časovni usklajenosti dveh Arduinov nista enaki in bi s prenašanjem iz enega na drugega dobili podatke, ki niso sinhronizirani ali pa podatkov sploh ne dobimo. Na isti spletni strani (<http://robberthofman.me/projects/2016/03/29/visible-light-communication/>), kjer smo dobili načrt, lahko najdemo tudi kodo, ki vse prenesene podatke izpisuje v serijskem vmesniku. Ker je toliko motenj, lahko prenašamo na največji razdalji okoli 10 cm. V kodo smo še dodali možnost, da nam prejete podatke izpiše na zaslon (Slika 23).



Slika 23: Fotoupor na tiskanem vezju, lasten vir

Ker pa smo dodali, da dodaja prebrane podatke, ko se prenašajo v niz (angl. string), imenovan beseda, nam te podatke zapisuje v pomnilnik. In ko se pomnilnik počasi zapolni, začne model zamrzovati. Da bi to popravili, smo tudi napisali, da se vrednost spremenljivke počisti (angl. reset) takoj, ko pridobi prvih 150 znakov (slika 24).

```
break;
case 11000:
  Serial.println("Debug 1: Ni prepoznano");
  beseda="";
  break;
case 1011001:
  Serial.println("Debug 2: Ni prepoznano");
  beseda="";
  break;
case 100001:
  Serial.println("Debug 3: Ni prepoznano");
  beseda="";
  break;
case 1011000:
  Serial.println("Debug 4: Ni prepoznano");
  beseda="";
  break;
default:
  Serial.println(binary);
  Serial.println("Ni dovolj podatkov");
  lcd.print(beseda);
  Serial.print(beseda);
  beseda="";
  break;
if(beseda.length()==150){
  beseda="";
}
}
```

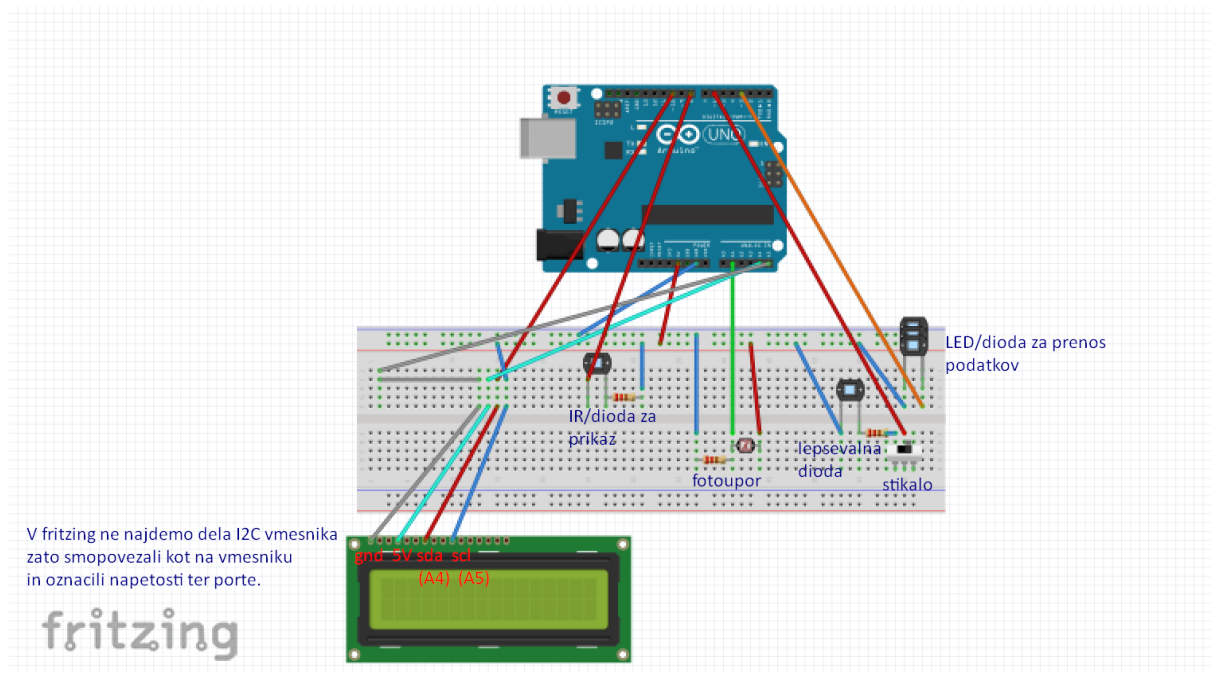
Slika 24: Del kode za čiščenje pomnilnika, lasten vir

Torej naš Li-Fi-model izpisuje podatke, ko je na primerni razdalji (manj kot 10 cm) in ko je vezje treh LED-diod vključeno. LED-diode smo vzeli iz močnejše svetilke, da smo lahko tako dosegli 10 cm razdalje prenosa (slika 25).



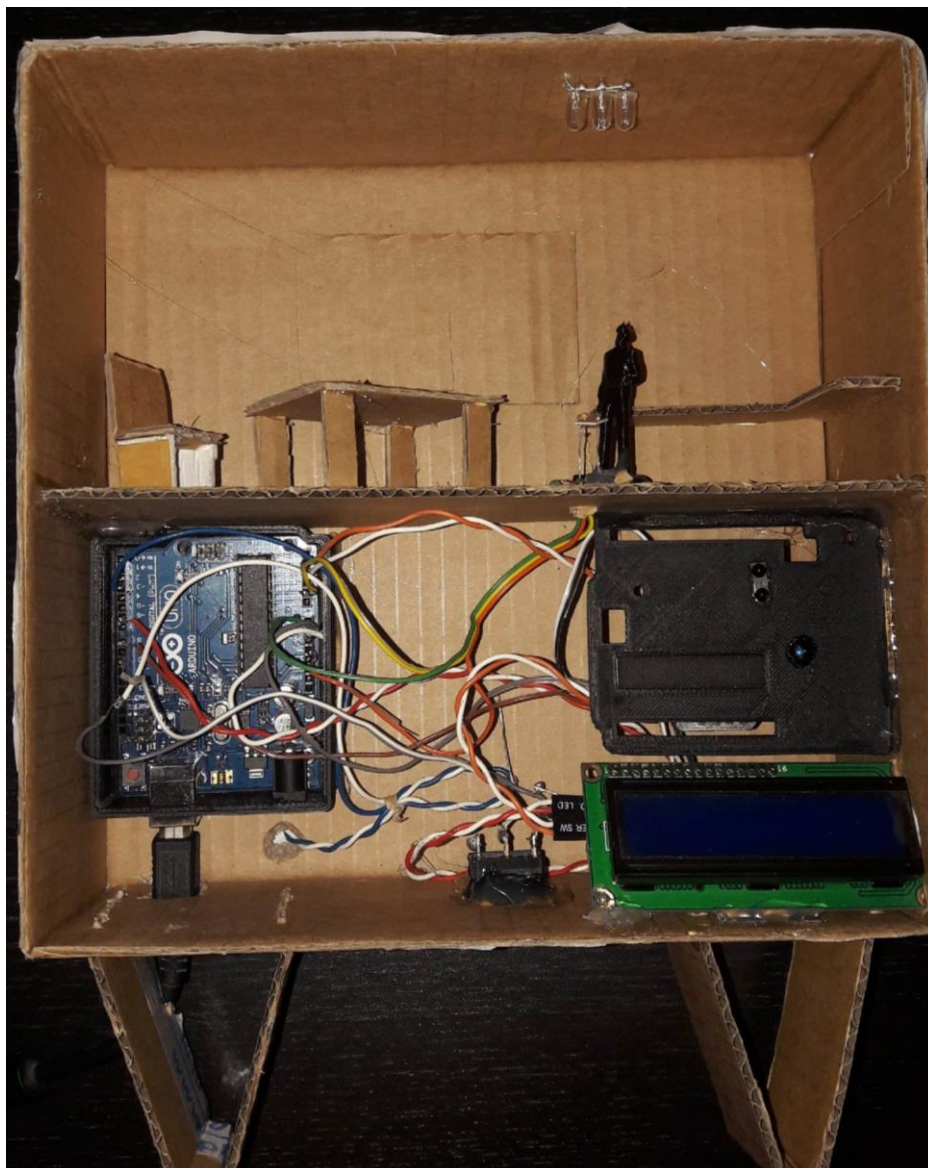
Slika 25: Slika LED-diod, kot svetilka za prenos podatkov, lasten vir

Cel program je napisan tako, da LED-diode za oddajanje podatkov priklopimo na vrata (angl. port) 13, vse kar pa zazna fotoupor, se zapisuje v zapisovalna vrata (angl. port) A1 (glej shemo zgoraj). Za večino napajanj potrebujemo 5 V, in ker ena vrata niso bila dovolj, smo si preprosto naredili še druge 5 V tako, da smo izbrana vrata dali na vrednost HIGH. Vsak tokokrog se mora tudi skleniti, zato smo vse druge dele povezali na GND. Samo ena dioda je povezana na 3,3 V (slika 26).



Slika 26: Shema končanega vezja, lasten vir

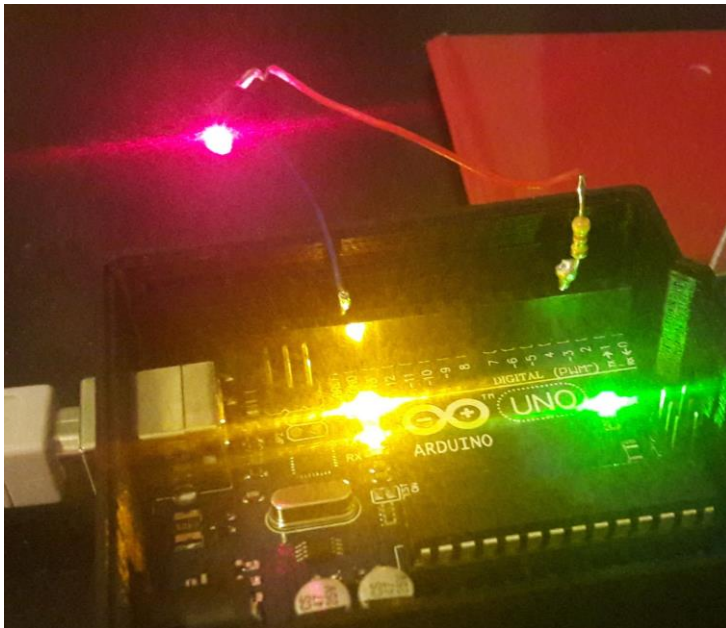
S pomočjo načrta vezja, ki smo si ga narisali (v programu Fritzing), smo nato naredili maketo hiše. Maketa prikazuje dva nadstropja. V prvem je Arduino, IR-fotodioda, zaslon, na katerega se izpisujejo podatki ter še dodatna dioda za popestritev. V drugem nadstropju pa so LED-diode iz svetilke in 3D-natisnjen »človeček«, ki naj bi predstavljal človeka na telefonu. Z LED-diodami se potem svetloba prenese do natisnjene modela človeka in izpiše na zaslon. Če postavimo predmet med diodami in fotouporom, pa prekinemo izpisovanje na zaslon oziroma prenašanje podatkov (slika 27).



Slika 27: Slika makete prereza hiše, lasten vir

Vsi spoji so pri spajkani in priključeni na točno določena vrata na Arduino. Težava je edino, da upor, ki ga uporabljamo, pride v nasičenje od tako močne svetlobe, kar pomeni, da po nekem času uporabe prepozna samo še, ali je svetloba ali pa je ni (nobenega utripanja samo velik DA ali velik NE).

Vse smo poizkusili tudi z laserjem, in sicer, je deloval na večjo razdaljo, ko je še laserski žarek močan (40 m), vendar pa je pri tem slabost ta, da je potrebno laserski žarek usmeriti točno v fotoupor (kar je precej težko doseči) (slika 28).



Slika 28: Laser povezan na Arduino Uno, lasten vir

3.1.2 Arduino koda za prenos podatkov

Koda je napisana tako, da na začetku napišemo črke sporočila, ki ga želimo poslati. Potem pa smo sestavili opis, katere znake lahko pošiljamo. V našem primeru so to vsi znaki angleške abecede. Ti so določeni v switch zanki, ki vneseni znak primerja z vsemi v tej zanki (z vsemi znaki angleške abecede). Če najde primeren znak, pošlje različne signale (kodirane) na vrata 13, kjer potem dioda utripa in pošilja podatke. Vsi podatki so poslani tudi v serijski vmesnik, ki ga odpremo s pomočjo ukaza `serial.begin()`. V našem primeru imamo odprta vrata 9600, kar pomeni, da omogočamo hitrost prenosa 9600 bit/s (slika 29).


```
void WriteChar(char str){
    switch (str - '0'){
        case 49:
            //code for a is 011 0001
            LightFlash(false, true, true, false, false, false, true);
            break;
        case 50:
            //code for b is 011 0010
            LightFlash(false, true, true, false, false, true, false);
            break;
        case 51:
            //code for c is 011 0011
            LightFlash(false, true, true, false, false, true, true);
            break;
        case 52:
            //code for d is 011 0100
            LightFlash(false, true, true, false, true, false, false);
            break;
        case 53:
            //code for e is 011 0101
            LightFlash(false, true, true, false, true, false, true);
            break;
        case 54:
            //code for f is 011 0110
            LightFlash(false, true, true, false, true, true, false);
            break;
        case 55:
            //code for g is 011 0111
            LightFlash(false, true, true, false, true, true, true);
            break;
        case 56:
            //code for h is 011 1000
            LightFlash(false, true, true, true, false, false, false);
            break;
        case 57:
```

Slika 29: Koda s Switch zanko za pošiljanje podatkov, lasten vir

Nato pa imamo kodo še za stran sprejemnika. Najprej imamo v kodi napisano, kje sprejemamo signale, potem pa imamo v neskončni zanki programa (angl. void loop) še switch zanko, ki preverja, če sprejeti podatki karkoli pomenijo. Tudi tu po znakih zopet preverjamo. Če imamo npr. signal 1011111, se izpiše v serijski vmesnik mala črka **m**. Napisali smo tudi da, če prepozna črko, si jo shrani v spremenljivko beseda in to spremenljivko nato izprazni, ko preneha z dobivanjem podatkov. Drugače pa se izprazni po 150 znakih, kot je že prej omenjeno (slika 30).

```
String beseda="";
//Receiver Library
void PrintChar(long binary) {
  lcd.begin(16,2);
  lcd.print(beseda);
  switch (binary){
    case 110001:
      //code for a is 011 0001
      Serial.println("a");
      beseda+="a";
      break;
    case 110010:
      //code for b is 011 0010
      Serial.println("b");
      beseda+="b";
      break;
    case 110011:
      //code for c is 011 0011
      Serial.println("c");
      beseda+="c";
      break;
    case 110100:
      //code for d is 011 0100
      Serial.println("d");
      beseda+="d";
      break;
    case 110101:
      //code for e is 011 0101
      Serial.println("e");
      beseda+="e";
      break;
    case 110110:
      //code for f is 011 0110
      Serial.println("f");
```

Slika 30: Koda s Switch zanko za prepoznavanje sprejetih podatkov, lasten vir

Kot lahko vidimo iz sheme, pa smo tudi nekaj drugih vrat nastavili na vrednost HIGH zato, da lahko dobimo več 5 V napetosti (slika 31).

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);

static int TRESHOLD = 500;
static unsigned int standardDelay = 20; //1350 je največ
int a=0;

void setup() {
  Serial.begin(9600); // 9600 bits per second
  pinMode(3,OUTPUT); //digital PWM 3 on output
  pinMode(8,OUTPUT);
  digitalWrite(8, HIGH);
  pinMode(10,OUTPUT);
  digitalWrite(10, HIGH);
  pinMode(0,OUTPUT);
  digitalWrite(0, HIGH);
  pinMode(6,OUTPUT);
  digitalWrite(6, HIGH);
  int sensorValue = 0;
}
```

Slika 31: Odrpta vrata (angl. porti) in vključena knjižnica za LCD-zaslon, lasten vir

4 OPIS UPORABLJENEGA MATERIALA

V nadaljevanju bodo opisani deli, ki so bili uporabljeni v raziskovalni nalogi in so potrebni za izdelavo lastnega Li-Fi vezja.

4.1 Arduino Uno

Arduino Uno je mikrokrmilnik, ki temelji na ATmega328P (podatkovnem listu). Ima 14 digitalnih vhodnih/izhodnih priključkov (od katerih jih ima 6 PWM izhod), 6 analognih vhodov, 16 MHz kremenovega kristala, USB-priključek, priključek za napajanje, glavo ICSP-a in gumb za ponovni zagon. Za delovanje potrebuje povezavo z računalnikom preko USB-priključka ali pa napajanje preko AC-DC-adapterja (slika 32).



Slika 32: Mikrokrmilnik Arduino Uno, vir [5]

Tabela 3: Lastnosti mikrokrmilnika Arduino Uno

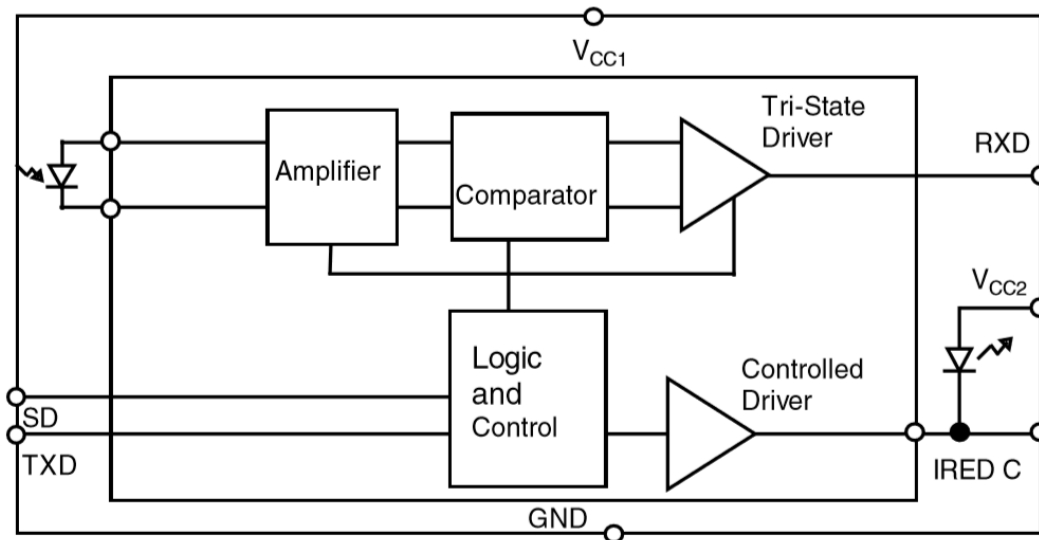
Lastnost	Vrednost
Mikrokrmilnik Arduin Uno	ATmega328P
Območje delovanja napetosti	5 V
Vhodna napetost (priporočeno)	7–12 V
Digitalni V/I priključki	14 (od katerih jih ima 6 PWM izhod)
Analogni vhodni priključki	6
DC tok na V/I priključek	20 mA
DC to za 3,3 V priključek	50 mA
Flash pomnilnik	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frekvenca	16 MHz
Dolžina	68.8 mm
Širina	54.4 mm
Teža	25 g

4.2 Integrirano vezje TFDU6103-TR3

Integrirano vezje TFDU6103-TR3 je elektronski element, ki vsebuje IR-sprejemnik in oddajnik, ki sta združena v enem ohišju. Če ni nobenega vezja med prenosnimi in sprejemnimi funkcijami, je naprava oddajnik-sprejemnik (angl. transciever). Izraz je že iz začetka 20. stoletja (slika 33).



Slika 33: Slika Integrirano vezje TFDU6103-TR3, vir[6]



Slika 34: Blokovna shema IR-transcieverja

Sledi tabela s priključki na integriranem vezju TFDU6103-TR3.

Tabela 4: Priključki integriranega vezja TFDU6103-TR3

PIN številka	Simbol	V/I	Aktiven
1	Vcc2 anoda	-	-
2	IRED katoda	-	-
3	TXD	V	Visoko
4	RXD	I	Nizko
5	SD	V	Visoko
6	Vcc1	-	-
7	NC	-	-
8	GND	-	-

Tabela 5: Hitrost delovanja integriranega vezja TFDU6103-TR3

Hitrost (kbits/s)	Dimenzije	Območje delovanja napetosti
4000	4 * 9.7 * 4	2.4 do 5.5 V

4.3 Ostale uporabljene komponente

Uporabljali smo tudi LCD- zaslon za Arduino, fotoupor LDR 10 k Ω , 3 kom 0,5 k Ω uporov, nekaj uporov, navadno IR-LED-diodo, navadne LED-diode, Arduino ploščico ter žice iz telefonskega linijskega kabla za povezovanje vezja z Arduino.

5 UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK

Ugotovili smo, da je izdelava lastnega Li-Fi-vezja za prenos podatkov precej zahtevna. Če smo zelo spretni s spajkalnikom, je lahko delo precej preprosto za povezovanje, vendar pa je še vedno potrebno poiskati delujoči električni načrt za vezanje elementov ali pa ga celo izdelati. Priporočeno je tudi znanje programiranja, saj je tudi koda za takšen model precej zapletena (za tiste, ki kode in programiranja ne razumejo) in jo je zato težko spreminjati.

Osnovni namen je bil ustvariti dva modela Li-Fi-vezja, ki bi delovala na podlagi IR-svetlobe. Vendar pa nam je nekaj težav »prekrižalo« te načrte. Najprej smo imeli težave z IR-LED-diodami, nato pa še z IR-sprejemniki. Zato smo morali poiskati alternativo, to je vidna svetloba. S to svetlobo se nismo želeli ukvarjati, saj ima ogromno motenj iz okolja. Tako smo le z nekaj upori, fotouporom in LED-diodami ustvarili delujoči model in Li-Fi-vezje.

Tako smo končali z modelom, ki deluje na podlagi enega Arduina. Svetloba pa se prenaša na razdalji okoli 10 cm. Vse smo poizkusili tudi z laserjem, ki je lahko oddajal signal na okoli 40 m. Problem pri laserju je bil, da sta morala laser in fotoupor biti čisto natančno poravnana (v optični osi), kar je zelo težko doseči in ni primerno za prenos podatkov v vsakdanjem življenju.

Predvidevamo pa, da bi z delujočimi komponentami sestavili Li-Fi-tehnologijo, ki bi lahko dosegala razdalje verjetno do nekje 10 m. Saj če pomislimo na televizijski sprejemnik, ugotovimo, da lahko vklopimo TV-sprejemnik z nekje razdalje do 15 m.

Problem pri prenosu iz enega Arduina v drugega pa je bil časovni zamik. Razvidno je, da Arduino pošilja neke signale, drugi pa jih prejema, vendar ne v obliki, kot bi si želeli. Največkrat sploh ne prepozna znakov, ki mu jih pošiljamo, če pa jih, so napačni. To bi lahko popravili z delom kode, ki bi definirala začetek in konec prenosa. Npr, da začnemo, pošljemo nek signal in drugi Arduino to prepozna ter začne poslušati/brati podatke iz svetlobe (to je sinhronizacija prenosa podatkov). Vendar pa je takšna koda bistveno pretežka za naše razumevanje (verjetno, ker prvič uporabljamo Arduino).

Cel projekt bi lahko še veliko bolj pomanjšali s kakšnim Arduino Pro Mini, Arduino Pro Micro ..., lahko bi naredili celo manjše tiskano vezje, na katerega bi prispajkali vse komponente.

Iz zgornjih povedi lahko ugotovimo, da se moramo za izdelavo lastnega primerno pripraviti, in sicer z več vezji TFDU6103-TR3, več časa za raziskavo in izdelavo vezja ... Za izdelavo smo potrebovali precej prostega časa ter zanimanje za izdelavo in potrpežljivost. Za izdelavo potrebujemo tudi veliko orodij in primerne gradiva, ki smo si ga mi izposodili na ŠCV. Ta orodja so npr. CNC-stroj, 3D-

tiskalnik, spajkalnik, spajka, žice, Arduini, vezje TFDU6103-TR3 (vsi elementi vezja so opisani ali omenjeni v popisu materiala) ...

Raziskovalno nalogo oziroma tehnologijo Li-Fi smo uspeli narediti s pomočjo ASK-modulacije. To pomeni, da dioda vrednost oddaja, ko je binarni zapis »1«, ko pa je binarni zapis »0«, ne prenaša podatkov oziroma »počiva«. Na podlagi kombinacij teh binarnih vrednosti pa naš program potem prepozna znake ter posledično tudi besede.

Pri izdelavi smo ugotovili, da lahko z Arduinom naredimo večino projektov, ki jih želimo. Kar neverjetno je, da se lahko s takšnimi vezji naredijo stvari, kot so npr. robotske roke ...

Z zgornjimi ugotovitvami pa lahko zavrremo in potrdimo zgornje hipoteze:

Prvo hipotezo, da bo modul stal manj kot 100 €, lahko potrdimo, saj smo za ves material odšteli samo okoli 50 €, vključno z Arduino Uno. Veliko komponent smo že imeli doma, kot na primer upori, fotoupori, diode ... V ceno izdelave so vključeni Arduinoti in pa integrirano vezje TFDU6103-TR3.

Drugo hipotezo, da bo takšna tehnologija dosegala veliko večje hitrosti, ne moramo niti potrditi in niti zavrniti, saj z našim modelom prikazujemo samo osnovno delovanje, ki prenaša sporočila in ne velikih podatkov. S tehnologijo zgolj prikazujemo, da se model s tehnologijo Li-Fi lahko naredi doma in da takšna tehnologija ni več prihodnost, ampak sedanjost.

Tretjo hipotezo si lahko razložimo na 2 načina. Pri prvem načinu hipotezo potrdimo, saj takrat Li-Fi-modul sestavljamo z IR-diodami. Edina motnja tem diodam so lahko različne vrste televizijskih daljincev oziroma IR-oddajniki ali toplotni viri na splošno. Res je, da z IR-svetlobo ne moremo podatkov prenašati tako hitro, kot smo si zamislili, lahko pa jih prenašamo bolj zanesljivo. Pri drugem načinu pa hipotezo zavrremo, saj delamo tehnologijo na podlagi vidne svetlobe oziroma navadnih LED-diod. Takšna tehnologija lahko pri zelo močni svetlobi doseže dolžino prenosa največ nekaj metrov, saj so motnje tako velike, da bi pri večji razdalji dobili svetlobne motnje iz okolice.

Četrto hipotezo, da bo razdalja močno vplivala na hitrost, lahko zavrremo. To pa zato, ker z oddaljevanjem sprejemnika od oddajnika ali obratno ne izgubljam hitrosti, temveč povečujemo zunanje motnje. Ko pa je motenj preveč, prenesenega signala ne dobivamo več oziroma izgubimo prenos podatkov.

Zadnjo hipotezo, da je Li-Fi zelo varna tehnologija, pa lahko tudi potrdimo, saj brez naše kode, ki smo jo zapisali na Arduino, nobeden ne more niti z modulom vdreti in prestreči signal. Teoretično bi lahko takšen signal na našem modulu prestregli s sprejemnikom, ki ima enako kodo, vendar pa je na profesionalnih modulih tudi prenos določen s kodiranjem le-te, npr. če pošilja podatke tej napravi, jo prepozna recimo kot Janez. Če bi sedaj meni moji napravi uspelo dati ime Janez, bi teoretično lahko

dostopal do podatkov, vendar pa, ker tehnologije ne poznamo tako podrobno, lahko rečemo, da je dokaj varna (veliko bolj kot Wi-Fi). Prav tako bi pri takšnem poizkusu morali biti zraven sijalk, ki oddajajo prenos podatkov.

Raziskovalno nalogo lahko zaključimo s tem, da je izdelava takšnega Li-Fi-vezja in modula precej zabavna, in enkrat, ko jo naredimo uspešno, se nam zdi zelo neverjetno, ko vidimo, da ravnokar prenašamo podatke po vidnem svetlobnem žarku.

6 ZAHVALA

Raziskovalna naloga ne bi bila v takšni obliki, če nama pri nastajanju le-te ne bi pomagalo veliko ljudi. Zahvala je torej namenjena naslednjim:

- mentorjema Nedeljku Grabantu, dipl. inž., in Miranu Zevniku, univ. dipl. inž., za pomoč, voljo, vztrajnost, njun prosti čas in spodbudo;
- staršem;
- Lidiji Šuster, prof., za lektoriranje;
- Simoni Diklič, prof., za lektoriranje angleškega povzetka;
- učiteljem ERŠ in ravnatelju Simonu Konečniku, univ. dipl. inž., za vso podporo in spodbudo;
- razredničarki Marjetki Herodež, prof., za veliko razumevanja in vse opravičene ure;
- recenzentu raziskovalne naloge;
- komisiji Mladih raziskovalcev in koordinatorici gibanja Mladi raziskovalci Karmen Hudournik;
- sošolcu Žanu Novaku za pomoč pri izdelavi tiskanega vezja (PCB in spajkanje);
- vsem neomenjenim, ki so kakorkoli pomagali pri izdelavi naloge.

8 VIRI

1. <https://media.licdn.com/mpr/mpr/AAEAAQAAAAAAAAAOuAAAAJDk5NmY5MGYxLTY1ZjgtNGQyZi1iYTFiLWVhZGVjUxNWVhNw.jpg>; 4. 11. 2017
2. <http://www.ijcta.com/documents/volumes/vol5issue1/ijcta2014050121.pdf>; 4. 11. 2017
3. <http://www.ijcta.com/documents/volumes/vol5issue1/ijcta2014050121.pdf>; 4. 11. 2017
4. <http://robberthofman.me/projects/2016/03/29/visible-light-communication/>; 21. 10. 2017
5. <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/Arduino-displays/ywrobot-lcm1602-iic-v1-lcd-Arduino-tutorial/>; 13. 12. 2017
6. <http://fritzing.org/home/>; 13. 12. 2017
7. <http://www.instructables.com/id/DIY-Li-Fi-Using-Arduino-Uno/>; 11. 12. 2017
8. <https://www.homemade-circuits.com/how-to-make-simple-li-fi-light-fidelity/>; 11. 11. 2017
9. <https://hackaday.io/project/10306-light-communication-between-two-Arduinos>; 11. 11. 2017
10. <https://www.youtube.com/watch?v=hjRSwBcLcSU>; 30. 11. 2017
11. <http://purelifi.com/technology/>; 11. 09. 2017
12. <https://www.youtube.com/watch?v=4iaIQROGwZw>; 11. 09. 2017
13. <http://www.lificonsortium.org/index.html>; 11. 09. 2017
14. <https://www.youtube.com/watch?v=tFwbcZFYRHQ>; 11. 09. 2017
15. <https://www.youtube.com/watch?v=sHAvJImYw3w>; 11. 09. 2017
16. <https://www.youtube.com/watch?v=ci7bcY3gaMc>; 11. 09. 2017
17. <https://www.youtube.com/watch?v=4iaIQROGwZw>; 11. 09. 2017
18. <http://purelifi.com/technology/>; 11. 09. 2017
19. <https://github.com/jpiat/Arduino/wiki/Arduino-simple-Visible-Light-Communication>; 11. 02. 2017
20. <https://www.youtube.com/watch?v=T8sewmxX9qM>; 11. 12. 2017
21. <http://www.ijettjournal.org/2017/volume-46/number-3/IJETT-V46P223.pdf>
22. <https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared>; 01. 10. 2017

23. https://sl.wikipedia.org/wiki/Infrarde%C4%8De_valovanje; 01. 10. 2017
24. <https://en.wikipedia.org/wiki/IR>; 01. 10. 2017
25. http://www.pctechguide.com/61SerialComms_Modulation.htm; 01. 10. 2017
26. https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_frequency; 01. 10. 2017
27. http://www.lkn.fe.uni-lj.si/gradiva/gtk/GRADIVO/GTK_2_3.pdf; 01. 10. 2017
28. <https://sl.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>; 01. 10. 2017
29. <https://sl.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>; 01. 10. 2017
30. https://sl.wikipedia.org/wiki/Frekven%C4%8Dna_modulacija; 01. 10. 2017
31. <https://sl.wikipedia.org/wiki/Fotodioda>; 01. 10. 2017
32. http://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude-shift_keying; 01. 10. 2017
33. <https://en.wikipedia.org/wiki/Li-Fi>; 1. 10. 2017
34. <https://purelifi.com/>; 1. 10. 2017
35. <http://edition.cnn.com/2012/09/28/tech/lifi-haas-innovation>; 1. 10. 2017
36. http://articles.economictimes.indiatimes.com/2013-0114/news/36331676_1_datatransmission-traffic-signals-visible-lightspectrum; 1. 10. 2017
37. <http://www.extremetech.com/extreme/147339-micro-led-lifi-whenever-light-source-in-the-world-is-also-tv-and-provides-gigabit-internetaccess>; 1. 10. 2017
38. <http://www.dvice.com/archives/2012/08/lifi-ten-ways-i.php>; 30. 9. 2017
39. <http://www.good.is/posts/forget-wifi-it-s-lifi-internet-through-lightbulbs>; 28. 9. 2017
40. <http://www.lifi.com/pdfs/techbriefhowlifiworks.pdf>; 1. 10. 2017
41. <http://www.ispreview.co.uk/index.php/2013/01/tiny-led-lights-set-to-deliver-wifi-style-internet-communications.html>; 1. 10. 2017
42. <http://www.newscientist.com/article/mg21128225.400-will-lifi-be-the-new-wifi.html>; 1. 10. 2017
43. <http://groupivsemi.com/working-lifi-could-be-available-soon/>; 1. 10. 2017
44. <http://www.ijcta.com/documents/volumes/vol5issue1/ijcta2014050121.pdf>; 13. 9. 2017

8.1 Viri slik

Vir [1] https://www.tme.eu/html/gfx/ramka_4012.jpg; 20. 02. 2018

Vir [2]

https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=YSkSa3T%2b&id=4A645EC3119E81186C54CBEAED3A9C84B2AEFDDE&thid=OIP.YSkSa3T-QqUamzUBtJK1_QHaEP&q=li+fi&simid=607986415688550806&selectedIndex=40&ajaxhist=0; 20. 02. 2018

vir [3] <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-displays/ywrobot-lcm1602-iic-v1-lcd-arduino-tutorial/>; 20. 02. 2018

vir [4] <http://robberthofman.me/projects/2016/03/29/visible-light-communication/>; 20. 02. 2018

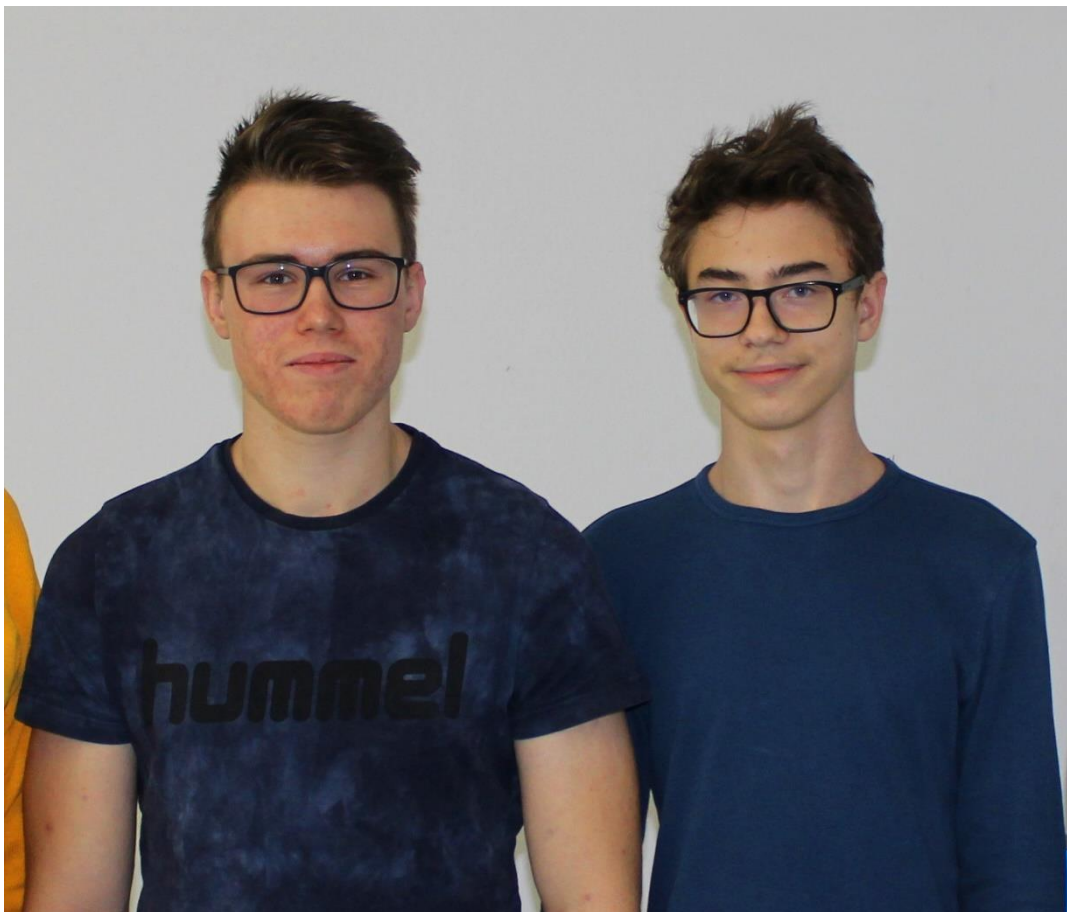
vir [5] <https://www.robotistan.com/arduino-uno-r3-clone-with-usb-cable-usb-chip-ch340>; 20. 02. 2018

vir [6] <https://www.arrow.com/en/products/tfdu6103-tr3/vishay>; 20. 02. 2018

9 AVTORJI RAZISKOVALNE NALOGE

Luka Lah je dijak 2. letnika Elektro in računalniške šole (ERŠ) v Velenju. Za raziskovalno nalogo se je odločil, ker ga zanima programiranje in elektrotehnika ter nove tehnologije. Zanima ga tudi programiranje s Pythonom, C++ ter drugimi programskimi jeziki. Zelo je aktiven tudi na športnem področju, v atletiki je član državne reprezentance. V prihodnosti se želi ukvarjati s programiranjem ter izdelavo raznih namiznih aplikacij in ostalih računalniških in elektro stvari.

Samo Pungaršek Pritržnik je dijak 2. letnika Elektro in računalniške šole (ERŠ) v Velenju. Za raziskovalno nalogo se je odločil, ker so ga zanimali različni načini komunikacije med računalnikom in Arduino. Zanimajo ga tudi programski jeziki. V prihodnosti se želi ukvarjati s programiranjem in z zagotavljanjem varnosti v računalniških sistemih (slika 35).



Slika 35: Mlada raziskovalca Luka Lah in Samo Pungaršek Pritržnik (z leve proti desni)

10 PRILOGE

Na DVD-ju so priložene naslednje priloge, ki so v mapah:

10.1 Vse sheme

10.2 Vse slike, posnete pri sestavljanju modela

10.3 E-oblika raziskovalne naloge

10.4 Arduino koda

10.5 Knjižnice za Arduino

10.6 Vsi materiali, uporabljeni v raziskovalni