

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Jan Vesel

Sistem za kreativno fotografijo

DIPLOMSKO DELO
NA UNIVERZITETNEM ŠTUDIJU

Mentor: prof. dr. Dušan Kodek

Ljubljana 2011

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavljanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.



Št. naloge: 01778/2011

Datum: 05.09.2011

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **JAN VESEL**

Naslov: **SISTEM ZA KREATIVNO FOTOGRAFIJO**
SYSTEM FOR CREATIVE PHOTOGRAPHY

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija

Tematika naloge:

Za zahtevno fotografiranje, predvsem pri zaznavanju izjemno kratkih dogodkov, je potrebno fotoaparati opremiti z dodatno opremo. Ta dodatna oprema omogoča tako imenovano kreativno fotografiranje in tipično vsebuje intervalometer, zvočni sprožilec, svetlobni sprožilec, hitrostni sprožilec, GPS geopozicioniranje in nadzor nad bliskavicami. Na osnovi pregleda obstoječih rešitev razvijte in izdelajte sistem, ki vsebuje te funkcije. Nadzor nad sistemom izvedite z uporabo Android naprave in Bluetooth povezave. Uporabite standardne elektronske komponente in izberite ustrezeni mikrokontroler. Izdelajte Android aplikacijo in programsko opremo za sistem. Sistem preizkusite, opišite izkušnje pri uporabi in podajte možne nadaljnje smeri razvoja.

Mentor:


prof. dr. Dušan Kodek

Dekan:


prof. dr. Nikolaj Zimic



IZJAVA O AVTORSTVU

diplomskega dela

Spodaj podpisani Jan Vesel

z vpisno številko 63050127

sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Sistem za kreativno fotografijo.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom prof. dr. Dušana Kodeka;
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela;
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki "Dela FRI".

V Ljubljani, dne 20. 9. 2011

Podpis avtorja/-ice:

Zahvala

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Dušanu Kodeku za njegovo vsestransko strokovno in mentorsko podporo pri pripravi diplomske naloge.

Zahvalil bi se tudi članom Laboratorija za grafiko in multimedijo in Laboratorija za arhitekturo in procesiranje signalov Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani za sposojeno opremo, s katero sem lahko izdelal in preizkusil sistem za kreativno fotografijo.

Zahvalil bi se tudi kolegu elektrotehniku Blažu Potočniku, ki mi je svetoval pri načrtovanju vezij.

Hvala za strpnost in podporo vsem prisotnim na socialnih omrežjih, ki so spremljali napredek diplomskega dela in prenašali moje objave ter »všečkali« fotografije.

Največja zahvala pa gre mojim staršem, ki so me podpirali ves čas mojega študija.

Kazalo

Povzetek	1
Abstract	2
1 Uvod	3
2 Pregled uporabljene opreme in njeno delovanje	7
1.1 Fotografaska oprema	7
1.1.1 DSLR in objektiv	7
1.1.2 Bliskavica	9
1.1.3 Ostali fotografski pripomočki	10
1.2 Mikrokrmilnik in kontrolno vezje	10
1.3 Naprava Android	11
1.4 Ostale komponente.	12
3 Pristop k reševanju problema	13
2.1 Proženje DSLRja	14
2.2 Proženje bliskavice	14
2.3 Idejna zasnova celotnega sistema	16
2.4 Tehnika fotografiranja	19
4 Rešitev	20
3.1 Mikrokrmilnik	20
3.2 DSLR vmesnik.	22
3.3 Kontrolno vhodno/izhodno vezje	24
3.4 GPS modul	26
3.5 Brežžična komunikacija preko bluetooth modula	27
3.6 Senzorji	30

3.6.1	Zvočni senzor	30
3.6.2	Svetlobni senzor	31
3.6.3	Laserski senzor	32
3.6.4	Hitrostni senzor	32
3.6.5	TTL nadzor Nikonove bliskavice	33
3.7	Upravljanje vezja z mikrokrmilnikom	34
3.7.1	Metoda void setup()	34
3.7.2	Metoda void loop()	35
3.7.3	Nadzorne metode	35
3.7.4	Metode sprožilcev	35
3.7.5	Pomožne metode	36
3.8	Android aplikacija	36
3.8.1	Intervalomer	38
3.8.2	Zvočni sprožilec	39
3.8.3	Svetlobni sprožilec	39
3.8.4	Laserski sprožilec	40
3.8.5	Hitrostni sprožilec	40
5	Sklepne ugotovitve	41
A	Fotografije	44
	Seznam slik	53
	Seznam tabel	54
	Literatura	55

Seznam uporabljenih kratic in simbolov

CCD — (angl. Charge-Coupled Device) senzor sestavljen iz matrike fotodiod, ki absorbirajo fotone. Ob absorpciji se ustvari naboj, ki predstavlja zaznani piksel.

CMOS — (angl. Complementary Metal–Oxide–Semiconductor) tehnika izdelave integriranih vezij. Večinoma se uporablja pri izdelavi mikroprocesorjev, mikrokrmilnikov, pomnilnikov in ostalih logičnih vezjih.

TTL¹ — (angl. Transistor–Transistor Logic) razred digitalnih vezij sestavljenih iz bipolarnih tranzistorjev in uporov.

TTL² — (angl. Through The Lens) fotografski izraz, ki opisuje lastnost fotoaparata za merjenje svetlobne jakosti skozi objektiv (za razliko od ločenega merilnega okna). Izmerjeni podatek služi za pravilno osvetlitev fotografije.

i-TTL — (angl. Intelligent Through-The-Lens) Nikonov sistem za avtomatično prilagajanje jakosti bliskavice glede na okoliško svetlobo.

GPS — (angl. Global Positioning System) je navigacijski sistem, ki se uporablja za določanje natančne lege in točnega časa kjerkoli na Zemlji.

FX — (angl. Full Frame) oznaka profesionalnih DSLR-jev s 35 mm senzorjem.

APS-C ali **DX** — (angl. Advanced Photo System type-C) oznaka DSLR-jev z manjšim in cenejšim 24 mm senzorjem.

Povzetek

Cilj diplomske naloge je bil narediti fotografski pripomoček oziroma sistem, s katerim bi lahko razširili zmožnosti kreativnega fotografiranja. Fotografu omogoča uporabo ekstremne osvetlitve, s katero je možno posneti visokohitrostno in intervalno fotografijo (npr. pok vodnega balona, pljusk kapljice ali zadetek krogle v grozdno jagodo).

V nalogi predstavljeni sistem za kreativno fotografijo sestavljajo: mikrokrmilnik Arduino, GPS modul, kontrolno vezje, senzorji in naprava Android ter zanjo sprogramirana aplikacija za brezžično upravljanje s sistemom. Sistem za kreativno fotografijo je mogoče uporabiti tako, da se izbere sprožilec in nastavi njegove parametre. Sistem ponuja izbiro zvočnega, svetlobnega, laserskega, hitrostnega ali časovnega sprožilca. Ob zaznanem dogodku (npr. ob poku vodnega balona) se sproži bliskavica in fotoaparatus. Ločeno od kontrolnega vezja in senzorjev se lahko neposredno na fotoaparatus priklapi GPS modul, ki poskrbi za pravilno geopozicioniranje posnetih fotografij.

Sistem za kreativno fotografijo predstavlja praktični primer združitve dveh različnih tehnologij: mikrokrmilnika Arduino in naprave Android. Podobni sistemi se lahko uporabijo za najrazličnejše rešitve v gospodinjstvih (npr. pametna hiša) ali v industriji (npr. oddaljeno krmiljenje proizvodnih procesov).

Ključne besede:

mikrokrmilnik Arduino, DSLR, naprava Android, visokohitrostna fotografija, intervalna fotografija

Abstract

The aim of the thesis was to make a photographic accessory or system that can expand the ability of creative photography. It allows the photographer to use an extreme exposure at which the camera can record high-speed photos and interval photos (e.g., water balloon pop, water drop splash or bullet hitting grape berry).

The thesis presents a system for creative photography that consists of: an Arduino microcontroller, a GPS module, a control circuitry, sensors, an Android device and its software application for a wireless management of the system. The system for creative photography can be used to select a trigger and set its parameters. The system offers a choice of sound, light, laser, speed or time triggers. When an event is detected (e.g., a water balloon pop), the camera and flash are triggered. Separate from the control circuits and sensors a GPS module, which enables proper geotagging of photos, can be connected directly to the camera.

The system for creative photography represents a practical example of the merger of two different technologies: an Arduino microcontroller and an Android device. Similar systems can be used for a variety of different solutions in the household (e.g., smart home) or industry (e.g., remote control of production processes).

Keywords:

Arduino microcontroller, DSLR, Android device, highspeed photography, interval photography

Poglavje 1

Uvod

Fotografija je širok pojem in zajema vse od fizikalnih ter optičnih lastnosti objektivna, karakteristik digitalnega ali filmskega senzorja pa do umetnosti in kreativnosti tistega, ki vihti digitalno refleksni fotoaparata (angl. Digital Single-Lens Reflex camera, ali DSLR). Tu je mišljena predvsem izbira motiva ter postavitve kadra in osvetlitve. Skratka, fotografija je preplet znanosti in umetnosti.

Svet fotografije se v grobem loči na navadno in ekstremno fotografijo (angl. extreme exposure). Slednja ima v slovenščini dva pomena: »ekstremno izpostavljanje« (npr. nevarnosti) ali v fotografskem smislu: »ekstremna osvetlitev« [4]. Le-ta velja za fotografije posnete na neobičajen način. Za zajem takih fotografij se ne uporablja avtomatičnega načina osvetlitve ali v fotografskih pojmih tako poznanega sindroma »f/8 @ 1/125«¹. Fotograf mora ročno izbrati osvetlitev glede na želeni motiv in dano svetlobo. Sama beseda osvetlitev (angl. exposure) pomeni količino svetlobe, ki lahko pade na fotografski medij, film ali digitalni senzor (CCD, CMOS). V fizikalnem svetu je definirana z enačbo (1.1), za praktično fotografiranje pa zadošča informacija o zaslonki in hitrosti zaslonke. Pogosto se za zajem ekstremne fotografije uporablja posebno vezje, ki zazna dogodek in pomaga pri zajemu fotografije.

1 Osvetlitev pri nastavitvah »f/8 @ 1/125« v fotografskem svetu pomeni varno osvetlitev, ki jo običajno fotoaparata izbere v avtomatičnem načinu delovanja. Z drugimi besedami povedano nam take nastavitve dajo povprečno fotografijo, ki jo lahko dobimo tudi z navadnim kompaktnim fotoaparatom.

$$H_v = E_v \times t \quad (1.1)$$

- H_v - svetlobna osvetlitev (angl. luminous exposure), merimo jo v lux sekundah;
- E_v - jakost svetlobe na sensorju (angl. image-plane illuminance);
- t - čas osvetlitve.

Cilj diplomske naloge je narediti fotografski pripomoček oziroma sistem, s katerim bi lahko razširili zmožnosti kreativne fotografije. Najbolj smo se osredotočili na fotografiranje izjemno kratkih trenutkov - takšnih, ki jih ne zaznamo s prostim očesom.

Sistem smo želeli narediti tako, da fotografu omogoča čim več svobode pri zajemu fotografij in uporabo na čim širšem področju ekstremne fotografije. Pred samim začetkom diplomske naloge je bilo potrebno razmisliti o funkcionalnosti, ki bi jo moral ponujati tak sistem. Sistem za kreativno fotografijo naj bi fotografu omogočal preprosto brezžično krmiljenje DSLR-ja ali bliskavic preko mikrokrmilnika, kontrolnega vezja in naprave Android¹. Omogočati bi moral proženje bliskavice ali fotoaparata preko izbranega sprožilca. Fotograf pa bi lahko izbiral med zvočnim, svetlobnim, laserskim, časovnim in hitrostnim sprožilcem. Pri tem bi lahko vsakemu nastavil zelene parametre, kot so jakost bliskavice, interval zajema fotografij ali dodatno zakasnitev sprožilca. Kot dodatno razširitev funkcionalnosti takega sistema smo želeli dodati še geopozicioniranje fotografij.

Izvedba takega sistema zajema načrtovanje kontrolnega vezja, senzorjev in njihovo izdelavo ter programiranje in optimizacijo mikrokrmilnika za zaznavo dogodkov in proženje fotoaparata ali bliskavic. Za brezžično komunikacijo pa je potrebno sprogramirati aplikacijo za uporabljeno mobilno napravo, s katero želimo upravljati sistem.

Na trgu obstaja nekaj rešitev oziroma produktov, s katerimi si lahko pomagamo za zaznavo določenih dogodkov in zajem fotografij. Največ je takšnih, ki rešijo posamezne enostavne probleme. Primer je senzor za zvok, ki za zaznavo uporablja preprost in nenatančen piezoelektrični zvočnik. Podobno velja tudi za svetlobni senzor s fotouporom, ki je pogosto prepočasen. Takšni sistemi so za bolj ekstremne dogodke neprimerni. Našemu sistemu se

¹ Naprava Android predstavlja katero koli napravo na kateri je nameščen Android operacijski sistem.

najbolj približata plačljiva sistema StopShot¹ in Camera Axe². Slednji nas je tudi navdušil za izdelavo lastnega vezja.

Visokohitrostno fotografiranje (angl. high speed photography) je tehnika oziroma znanost, ki se je razvila leta 1948, ko je društvo Society of Motion Picture in Television Engineers (SMPTE) definiralo visoko hitrostno slikanje kot kateri koli niz fotografij, posnetih s kamero, ki lahko zajame 128 slik na sekundo ali več. Prvi zelo znan primer take fotografije je niz fotografij galopirajočega konja avtorja Eadwearda Muybridgea iz leta 1887.

V splošnem ločimo zajem ene fotografije z namenom zamrznitve gibanja in zajem niza fotografij pri visoki vzorčni frekvenci oziroma hitrosti zajema slik. Prva zahteva senzor z zelo dobro občutljivostjo in hitro zaslonko oziroma hitro stroboskopsko luč, druga pa način zajemanja slik oziroma čim hitrejši prenos slike s sensorja v pomnilnik. Ostali dejavniki pri visokohitrostnem fotografiranju so še čas trajanja posnetka, razmerje med intenziteto in trajanjem svetlobe, ki jo senzor ujame (angl. reciprocity in photography), ter optična resolucija (angl. spatial/optical resolution).

Visokohitrostno fotografiranje je nasprotno fotografiranju v intervalih oziroma intervalni fotografiji (angl. time lapse photography). Slednja je kinematografska tehnika zajema slik s frekvenco, ki je manjša od tiste, s katero se bo zaporedje slik predvajalo. Ker govorimo o kinematografski tehniki, bomo tu uporabljali izraz slika namesto fotografija. Video posnetek je namreč zaporedje slik, ki se predvajajo z neko hitrostjo. Merimo jo v sličicah na sekundo (angl. Frames Per Second ali FPS). Ta hitrost je odvisna od uporabljenega kodeka za kompresijo videa. Najbolj standardne hitrosti so 23.976 FPS, 25 FPS ali 29.97 FPS.

V tem diplomskem delu bomo predstavili sistem za zajem fotografij z ekstremno osvetlitvijo in prikazali praktično uporabo združitve dveh različnih platform mikrokrmilnika Arduino in naprave Android. Skušali bomo odgovoriti na naslednja vprašanja:

- Kako rešiti problem zajema zelo hitrih dogodkov s stališča fotografije?

¹ StopShot je produkt podjetja Cognisys Inc za proženje bliskavic glede na priklopljene senzorje.

² Camera Axe [11] je sistem za proženje fotoaparatorov ali bliskavic glede na priklopljene senzorje. Sheme vezja in programska koda so izdane pod Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 licenco.

- Kako povezati mikrokrmilnik z Android napravo in rešiti problem pošiljanja ukazov ali podatkov?
- Kako izdelati dovolj hitre in odzivne senzorje?
- Kako na mikrokrmilniku pospešiti obdelavo podatkov (branje in pretvorba analognega signala v digitalni signal)?

Poglavje 2

Pregled uporabljene opreme in njeno delovanje

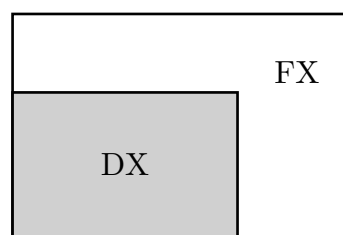
1.1 Fotografska oprema

Pred začetkom načrtovanja vezja je potrebno razumeti delovanje uporabljene opreme. Dobra stran visokohitrostne fotografije je, da lahko za zajem fotografij uporabimo katerikoli fotoaparatus (navadni kompaktni ali DSLR), za intervalno fotografijo pa se mora sistem povezati s fotoaparatom preko priključka žičnega sprožilca (večina DSLR-jev). V našem primeru smo pri testiranju uporabili DSLR fotoaparatus Nikon D700, standardni objektiv Nikkor 24-70 mm f/2.8 in makro objektiv Sigma 150 mm f/2.8 (slika 2.2).

1.1.1 DSLR in objektiv

Digitalno zrcalno refleksni fotoaparatus za zajem fotografije uporablja digitalni senzor (CMOS). Današnji profesionalni DSLR-ji uporabljajo senzor, ki je po velikosti ekvivalenten s 35 mm filmskim okvirjem, ki meri v dolžino 36 mm ter v višino 24 mm. Taki senzori oziroma DSLR-ji nosijo oznako FX in so kvalitetnejši od cenejših DX DSLR-jev.

Slednji zajemajo fotografijo na senzor velikosti 23.6 mm in 15.7 mm. Od velikosti senzora je odvisna tudi sama približava objektivna - goriščnica



Slika 2.1: Razlika v velikosti FX in DX senzorja

objektiva 150 mm na FX-u, se na DX-u poveča za faktor 1.5 in ima vrednost 225 mm. Nikon D700 spada v kategorijo profesionalnih DSLR-jev in uporablja FX senzor.

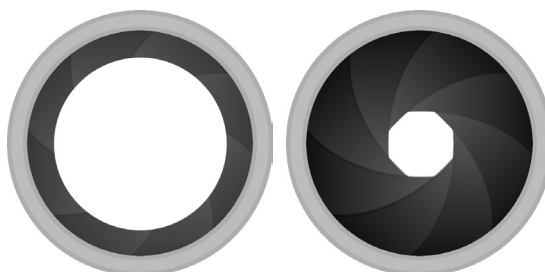


Slika 2.2: Levo - Nikon D700; sredina - objektiv Nikkor 24-70 mm f/2.8; desno objektiv Sigma 150 mm f/2.8 Macro

Pri zajemu fotografije z DSLR-jem so najpomembnejši trije atributi, ki so odvisni drug od drugega:

- Občutljivost sensorja na svetlobo (angl. ISO).
Ob večji ISO vrednosti je senzor bolj občutljiv na svetlobo in obratno, ob manjši ISO vrednosti je senzor manj občutljiv na svetlobo. Tako se ob enaki zaslonki in hitrosti zaslonke pri večji občutljivosti na senzor ujame več svetlobe oziroma se lahko pri enaki osvetlitvi poveča vrednost zaslonke ali hitrost zaslonke. S povečanjem ISO vrednosti se poveča tudi količina zajetega šuma oziroma se zmanjša kvaliteta fotografije.
- Čas osvetlitve oziroma hitrost zaslonke (angl. shutter speed).
Ta določa, koliko časa je senzor izpostavljen svetlobi. Običajno je čas izražen v celih sekundah ali pa v ulomku (15 s, 4 s, 1/150 s, 1/1000 s...).
- Zaslonka (angl. aperture).
Zaslonka je lastnost objektiv, s katero se regulira, koliko svetlobe proni-ca skozi objektiv na senzor (slika 2.3). Nizka vrednost (f/2.8) pomeni ši-roko odprto zaslonko, ki spusti največ svetlobe. To pomeni, da se lahko zmanjša čas osvetlitve ali pa zmanjša ISO vrednost ter s tem izboljša kvaliteta fotografije. Z zaslonko je povezano tudi območje izostritve (angl. Depth Of Field ali DOF). Bolj odprto zaslonko uporabimo, manjši

je DOF. To je posebej opazno pri makro objektivih s povečavo 1:1, pri katerih se eksponentno povečajo tresljaji, ki povzročijo zamegljeno sliko in se eksponentno zmanjša območje izostritve. Za nestreseno ostro sliko je nujno potrebna uporaba stativa in žičnega sprožilca.



Slika 2.3: Primer odprte in zaprte zaslonke

1.1.2 Bliskavica

Bliskavica Nikon SB600 deluje na dva načina. V avtomatičnem načinu uporablja protokol i-TTL. Ta spada pod Nikonov kreativni sistem osvetljevanja (angl. Creative Lighting System ali CLS). Fotoaparati najprej prebere osvetlitev senzorja in nato prilagodi moč bliskavice tako, da je osvetlitev v izbrani točki (običajno je to centralna točka) uravnovešena - ne presvetla in ne pretemna. Seveda je zaradi tega zakasnitev večja - bliskavica sproži testni blisk, ki ga kamera analizira ter nato sproži popravljenega. To zakasnitev je možno zmanjšati z zaklepom bliskavice (angl. flash lock), ki zahteva, da si fotoaparati predhodno izračuna jakost bliskavice. Protokol i-TTL se uporablja tudi za brezžično sinhronizacijo več Nikonovih bliskavic. Za nas je primernejša ročna nastavitvev bliskavice, saj tukaj zakasnitve ni ali pa je minimalna.



Slika 2.4: Bliskavica Nikon SB-600

1.1.3 Ostali fotografski pripomočki

Poleg DSLR fotoaparata in bliskavice potrebujemo še nekaj pripomočkov. Nikon SB600 bliskavica žal nima PC-synch vhoda, zato je potrebno uporabiti podaljšek bliskavice (angl. hot-shoe adapter) in ga na drugem koncu prilagoditi za priklop na mikrokrmilnik. Poleg žičnega sprožilca so uporabni tudi filtri za objektivne: polarizacijski in nevtralno sivi. Prvi zmanjša lesk vode in malenkost zatemni, drugi pa je narejen za zatemnitev in zmanjšanje količine svetlobe, ki pade na senzor. S pomočjo teh dveh filtrov lahko v svetlem prostoru slikamo z daljšim časom osvetlitve oziroma z manjšo hitrostjo zaslonke. V večini primerov je obvezna uporaba stativa.



Slika 2.5: Levo - »Hot shoe« podaljšek, desno - žični sprožilec Nikon MC-DC2

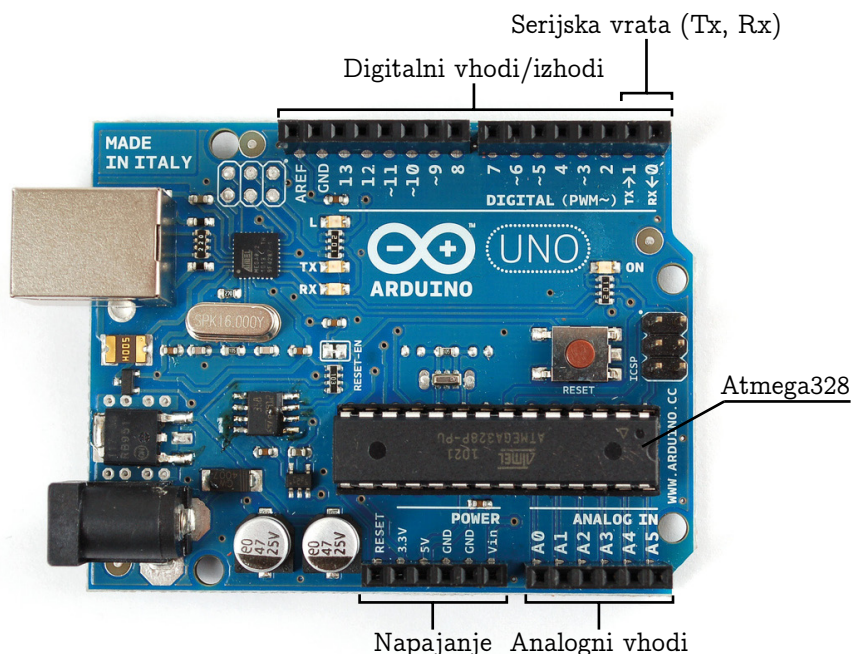
1.2 Mikrokrmilnik in kontrolno vezje

Za izdelavo kontrolnega vezja oziroma sistema za kreativno fotografiranje smo uporabili Arduino Uno. To je odprtokodna platforma, ki temelji na mikrokrmilniku ATmega328. Ima 14 digitalnih vhodov ali izhodov, od katerih jih 6 lahko deluje kot PWM izhod, 6 analognih vhodov, 16MHz oscilator, USB in napajalno povezavo, ICSP priključek in gumb za resetiranje. Ima 2KB SRAM, 1KB EEPROM in 32 KB Flash pomnilnika.

Mikrokrmilnik programiramo v programskem jeziku »Arduino programming language« ali v C/C++, uporabljamo pa enostaven odprtokodni IDE in knjižnice, ki nam poenostavijo rokovanje z njim. V IDE je vgrajen tudi serijski monitor, s katerim nadzorujemo komunikacijo na Rx vhodu in Tx izhodu (slika 2.6). Kot si bomo ogledali v nadaljevanju, je včasih boljše uporabiti direktno naslavljanje registrov namesto vgrajenih ukazov, saj tako

optimiziramo kodo za čim hitrejšo delovanje.

Naloga kontrolnega vezja je, da poskrbi za komunikacijo med mikrokontrolnikom Arduino in Android tablico ter omogoča enostaven priklop senzorjev, bliskavic ter DSLR-ja.



Slika 2.6: Mikrokontrolnik Arduino Uno

1.3 Naprava Android

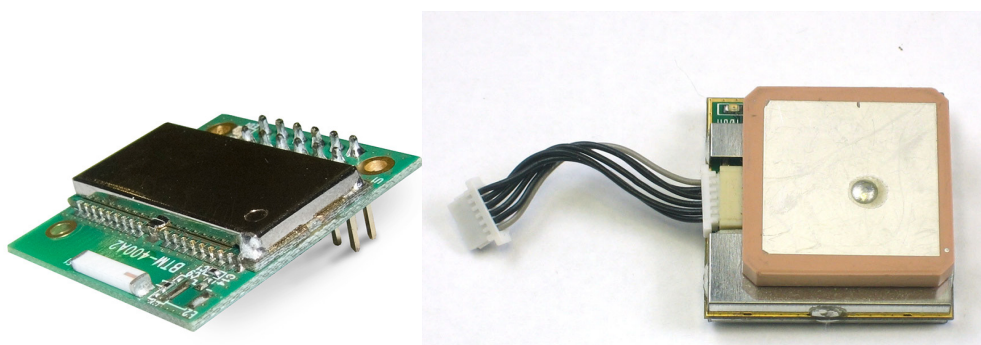
Pri razvoju ideje za diplomsko delo smo se odločili, da je uporaba kombinacije navadnega LCD ekrana in gumbov za premikanje po menijih ter nastavljanje parametrov nekoliko zastarela in obrabljena rešitev. Namesto tega smo raje uporabili odprtokodno platformo Android in tablični računalnik Acer A500, za katerega smo sprogramirali aplikacijo za brezžični (blue-tooth) nadzor kontrolnega vezja. Seveda lahko aplikacijo namestimo tudi na katero koli drugo napravo ali »pametni« telefon, na katerem deluje Android operacijski sistem.



Slika 2.7: Acer A500 z Android 3.1 Honeycomb operacijskim sistemom

1.4 Ostale komponente

Za brezžično komunikacijo z Android tablico smo uporabili Bluetooth modul LM-400, za geopozicioniranje pa GPS modul USGloblSat EM-406A. Tudi vsak senzor, ki smo ga uporabili za testiranje, je zahteval svoje komponente. Uporabili smo laserski kazalnik, fotoupor, fotodiodo, fototranzistor, mikrofoni, piezoelektrični zvočnik, mikrofoni, IR LED diode, nekaj ojačevalnikov in optoizolatorjev ter širok nabor uporov in kondenzatorjev. Podrobnosti in uporaba komponent, bluetooth in GPS modulov so opisane v nadaljevanju.



Slika 2.8: Levo - Bluetooth modul LM-400, desno - GPS modul EM-406A

Poglavje 3

Pristop k reševanju problema

Naša želja je bila, da končni sistem oziroma vezje ponuja fotografu čim več možnosti prilagajanja pri zajemanju fotografij: od priklopa različnih senzorjev, proženja DSLR-ja in bliskavic do enostavnega vnosa parametrov in izbire ukazov. Preden smo se lahko lotili zasnove vezja, je bilo najprej potrebno rešiti problem funkcij takega sistema glede na tehniko zajema fotografije. Tu smo se osredotočili na visokohitrostno fotografijo, druge funkcije niso predstavljale večjih težav. Na kakšen način sploh lahko zajamemo trenutek, ki traja manj kot milisekundo s fotoaparatom, ki ima zakasnitev 40 ms? Vsako funkcijo sistema in pristop do rešitve bomo opisali v naslednjem poglavju. V tem poglavju želimo razjasniti, kako najbolje izkoristiti dano opremo za fotografiranje izjemno kratkih trenutkov.

Pri samem visokohitrostnem fotografiranju hitro opazimo, da so največji problem zakasnitve. Razdelimo jih lahko na reakcijski čas fotografa ter zakasnitev DSLR-ja. Odzivni čas človeka je vsota reakcijskega časa in časa gibanja. V primeru preprostega reakcijskega časa [7] (poznamo še zaznavni reakcijski čas), človek potrebuje približno 160 milisekund pri zaznavi zvočnega ter približno 190 milisekund pri zaznavi vizualnega dražljaja. Na srečo bo namesto nas to delo opravilo vezje veliko hitreje. Vendar ima vsak DSLR nekaj zakasnitev, največ zaradi fokusiranja. Izognemo se mu lahko tako, da izklopimo avtomatsko ostrenje in objekt izostrimo ročno, na DSLR-ju preklopimo v ročni način (angl. manual mode) in nastavimo vse potrebne attribute (ISO, zaslonko, hitrost zaslonke) po želji glede na dane pogoje. Na ta način zakasnitev zmanjšamo za kolikor se le da. Tako dosežemo povprečno zakasnitev 60 milisekund (odvisno od DSLR-ja). Le-tej pravimo zakasnitev

zaslonke (angl. shutter lag) in traja od trenutka pritiska na gumb pa do sprožitve zaslonke. Nikon D700 spada v rang profesionalnih DSLR-jev, zato ima nekoliko manjšo zakasnitev - 40 milisekund [5]. Čeprav je to za človeka zanemarljiv čas, je pri visokohitrostni fotografiji, kjer merimo čas v mikrosekundah, zelo velika zakasnitev.

2.1 Proženje DSLRja

Prva rešitev zajem fotografije bi bila ta, da z vezjem sprožimo fotoaparata. Nikon D700 ima največjo hitrost zaslonke 1/8000 sekunde. To pomeni, da svetloba skozi objektiv zadane senzor samo za 0.125 ms. Kot smo že pojasnili v prejšnjem poglavju, ko smo opisovali delovanje DSLR-ja, to pripelje do zelo temne, če ne celo črne fotografije (odvisno od svetlobe v prostoru). Uporaba dodatnih luči in bliskavic je skoraj nujno potrebna.

Potrebno je upoštevati tudi čas, ki ga fotoaparata porabi za zajem fotografije (minimiziramo ga, če uporabljamo ročni način) ter zakasnitev vezja, ki zazna želeni dogodek. Zakasnitev tranzistorja 2N2222A, ki skrbi za proženje fotoaparata, je pri 25 nanosekundah zanemarljiva. V primeru, da sprožimo fotoaparata z nameščeno bliskavico, se pojavi dodatna zakasnitev v komunikaciji med njima.

To rešitev lahko uporabimo samo takrat, kadar ne potrebujemo izjemno hitrega zajema fotografij, torej pri intervalni fotografiji.

2.2 Proženje bliskavice

Če želimo ujeti še hitrejše dogodke - recimo na 1/25.000 sekunde natančno ali celo več, se moramo odločiti za proženje bliskavice pri odprti zaslonki fotoaparata. Tu moramo uporabiti optoizolator, s katerim galvansko ločimo tokokroge bliskavice in mikrokrmilnika oziroma kontrolnega vezja. Zakasnitev optoizolatorja, preko katerega sprožimo bliskavico, je pri 1.2 mikrosekundah zanemarljiva. V primeru, da bi želeli še hitrejše vezje, bi morali optoizolatorje nadomestiti s transformatorji, vendar v našem projektu to ni bilo potrebno. Odprta zaslonka (angl. bulb mode) je nastavitev fotoaparata, ki ob pritisku na sprožilec odpre zaslonko in jo pusti odprto, dokler je spro-

žilec aktiven. Ta čas je odvisen od osvetlitve prostora, običajno slikamo v popolni temi, zaslonka pa je odprta nekaj sekund. Na ta način se svetloba ujame na senzor šele ob sprožitvi bliskavice, ki v trenutku bliska zamrzne vse gibanje.

Bliskavica Nikon SB600 [6] ima veliko hitrejši odzivni čas kot DSLR in pri najnižji intenziteti omogoča čas osvetlitve 1/25.000 sekunde.

Hitrost	Izhodna moč bliskavice
1/900 s	1/1 (polna moč)
1/1600 s	1/2
1/3400 s	1/4
1/6600 s	1/8
1/11100 s	1/16
1/20000 s	1/32
1/25000 s	1/64

Tabela 3.1: Izhodna moč bliskavice Nikon SB600

Pri ročnem načinu izbire osvetlitve se je potrebno orientirati glede na tako imenovano karakteristično tabelo bliskavice (angl. Guide Number ali GN) ali po občutku. Tabela 3.2 prikazuje določene vrednosti za Nikon SB600 pri ISO 100 in predstavlja jakost bliskavice pri različnih razdaljah do objekta in poziciji glave¹ bliskavice glede na izbrano gorišnico objektiva. Za izračun zaslonke in jakosti bliskavice se uporabita enačbi (3.1) in (3.2). Glede na izračunano vrednost GN, iz tabele preberemo jakost bliskavice.

- Za izračun primerne zaslonke s pomočjo tabele

$$\text{zaslonka} = \text{guide number} \times \text{ISO} \div \text{razdalja do objekta} \quad (3.1)$$

- Za izračun primerne jakosti bliskavice s pomočjo tabele

$$\text{GN} = \text{razdalja do objekta} \times \text{zaslonka} \div \text{ISO} \quad (3.2)$$

¹ Pozicija glave bliskavice določa ojačenje bliska, s pomočjo katerega lahko osvetlimo bolj oddaljene objekte, vendar na ožjem območju.

Izhodna moč bliskavice	Pozicija glave bliskavice (mm)						
	14	24	28	35	50	70	85
M 1/1	14,0	26,0	28,0	30,0	36,0	38,0	40,0
M 1/2	9,9	18,4	19,8	21,2	25,5	26,9	28,3
M 1/4	7,0	13,0	14,0	15,0	18,0	19,0	20,0
M 1/8	4,9	9,2	9,9	10,6	12,7	13,4	14,1
M 1/16	3,5	6,5	7,0	7,5	9,0	9,5	10,0
M 1/32	2,5	4,6	4,9	5,3	6,4	6,7	7,1
M 1/64	1,8	3,3	3,5	3,8	4,5	4,8	5,0

Tabela 3.2: Nikon SB600 - GN pri ISO 100 (metri)

V primeru, da se uporabi drugačna vrednost ISO, je potrebno jakost bliskavice pomnožiti z ustreznimi faktorji iz tabele 3.3.

ISO	25	50	100	200	400	800	1600
Faktor	x0,5	x0,7	x1	x1,4	x2	x2,8	x4

Tabela 3.3: Faktorji za množenje GN pri različnih ISO vrednostih

Z zmanjšanjem izhodne moči bliskavice se skrajša čas osvetlitve, kar pomaga zamrzniti hitro gibajoči objekt oziroma motiv, vendar se na senzor ujame manj svetlobe. To pripelje do temne ali celo popolnoma črne slike. Pomagamo si lahko s povečanjem občutljivosti sensorja, vendar zaradi zmanjšanja kvalitete slike ni priporočljivo uporabljati vrednosti ISO večje od 1000. Več svetlobe ujamemo tudi z uporabo hitrejših¹ objektivov oziroma širšo zaslonko, vendar s to zmanjšamo DOF.

2.3 Idejna zasnova celotnega sistema

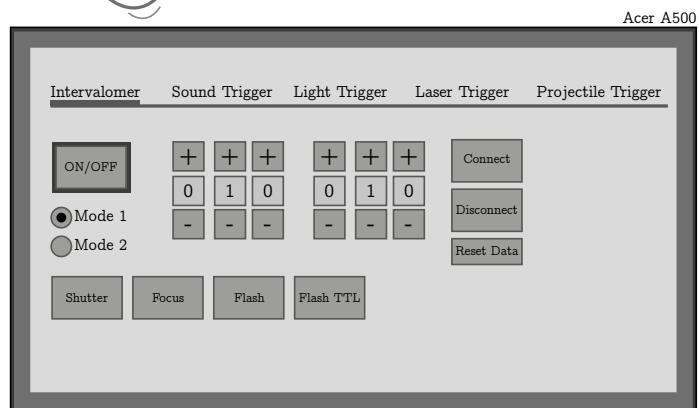
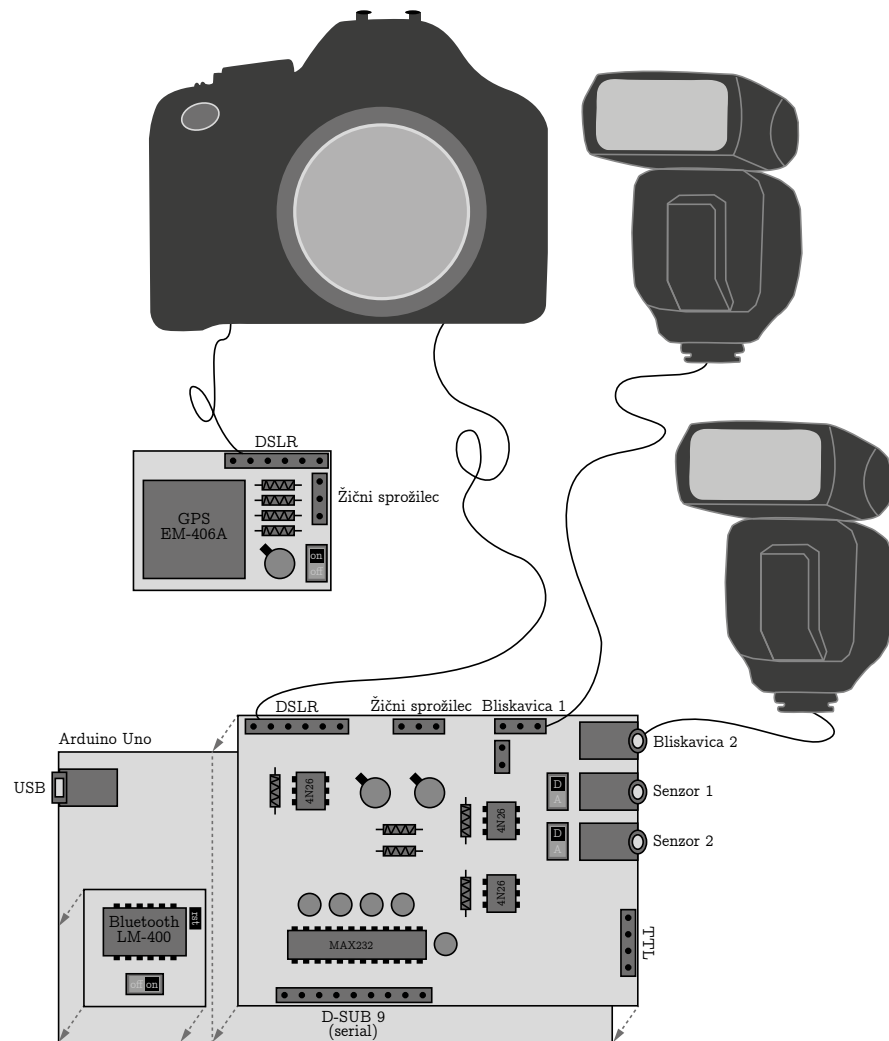
Pri zasnovi kreativnega sistema za fotografiranje smo se omejili na izbrano število sprožilcev in priključkov za prikllop DSLR-ja in dveh bliskavic. Osredotočili smo se na fotografiranje izjemno kratkih trenutkov, sistem pa

¹ Hitrost objektivna je pogojena z njegovo zaslonko. Tisti, ki imajo zaslonko f/2.8 ali manj (npr. f/1.8 ali f/1.4), spadajo v kategorijo hitrih objektivov. Skoznje v temnem okolju pronica največ svetlobe, zato so tudi najhitrejši pri ostrenju slike.

smo skušali narediti enostaven in prilagodljiv. Po potrebi ga lahko razširimo z dodatnimi priključki in senzorji in z njimi dodamo nove funkcionalnosti.

Na sliki 3.1 je predstavljena idejna zasnova celotnega sistema. Glavne funkcije načrtanega sistema so:

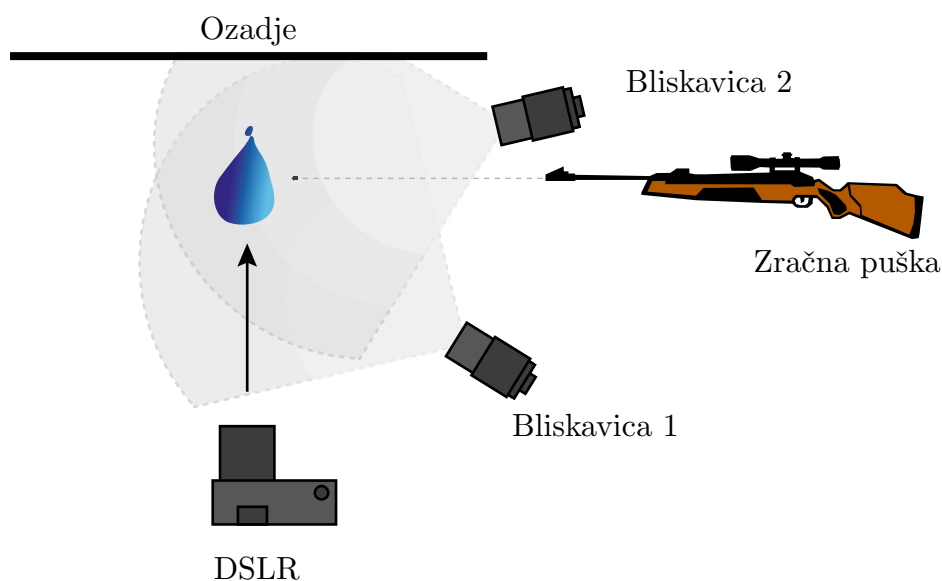
- nadzor in krmiljenje kontrolnega vezja z Android napravo preko Bluetooth povezave;
- ročni nadzor DSLR-ja;
- visokohitrostna fotografija:
 - zvočni sprožilec (razbitje steklenice, pok balona);
 - svetlobni sprožilec (strela);
 - laserski sprožilec (vodne kapljice);
 - hitrostni sprožilec (iztreljena krogla med letom);
- intervalna fotografija:
 - časovni sprožilec;
- geopozicioniranje s pomočjo GPS-a;
- proženje vsaj dveh bliskavic;
- nadzor jakosti bliskavice preko protokola TTL².



Slika 3.1: Idejna zasnova celotnega sistema

2.4 Tehnika fotografiranja

Tu se bomo osredotočili na tehniko zajema visokohitrostnih fotografij. V prostoru, ki se ga lahko zatemni, se postavi stativ s pritrjenim DSLR-jem. Nato se glede na opazovani objekt odloči za svetlo ali temno ozadje ter ustrezno postavi bliskavici. Slika 3.2 prikazuje primer uporabe hitrostnega sprožilca. Pri uporabi svetlega ozadja se je potrebno izogniti neposrednim sencam, ki jih povzroči osvetlitev objekta s pravilno usmeritvijo bliskavic. Nato se prostor zatemni in ob odprti zaslonki DSLR-ja aktivira senzorje, ki sprožijo bliskavici.



Slika 3.2: Primer pravilne postavitve opreme pri uporabi hitrostnega sprožilca

Krogla, izstreljena iz zračne puške, potuje približno s hitrostjo 150 m/s. Za ostro sliko moramo ujeti kroglo v času 1 mikrosekunde. V tem času prepotuje 0.15 milimetra in je na fotografiji videti ostra in nezamegljena. V našem primeru smo uporabili navadno bliskavico (Nikon SB600), pri kateri smo omejeni z njeno najnižjo izhodno močjo 1/64. Čas bliska traja 40 mikrosekund, kar povzroči sicer zamrznjen oster objekt, vendar zamegljeno kroglo. Čeprav smo s pomočjo lastne implementacije protokola TTL² čas bliska dodatno zmanjšali, žal ni bilo dovolj. Ostro sliko leteče krogle bi lahko dobili z uporabo ultrahitre stroboskopske luči.

Poglavje 4

Rešitev

3.1 Mikrokrmilnik

Tako kot vsak mikrokrmilnik ima tudi Arduino Uno nastavljene privzete ukaze, ki v večini primerov zadoščajo za želeno opravilo, vendar včasih z njimi ne moremo izpeljati določene naloge. Vsi senzorji se priklopijo na analogne vhode mikrokrmilnika, kjer analogno-digitalni pretvornik preslika analogni signal (napetost) v digitalni signal. Privzete nastavitve so nastavljene na 10-bitno resolucijo, kar pomeni $2^{10} = 1024$ vrednosti [1]. Pri preslikovanju uporablja privzeto referenco, ki preslika napetosti od 0V do 5V na interval od 0 do 1023. Eno branje analognega vhoda traja pri privzetih nastavitvah 100 mikrosekund. Za zvočni in svetlobni sprožilec je to prepočasno. Na srečo se lahko branje analognega vhoda pospeši z znižanjem delilnika (angl. prescaler). To se naredi tako, da se v kontrolni in statusni register analogno-digitalnega pretvornika ADCSRA nastavi bite ADPS0, ADPS1 in ADPS2 glede na želeni delilnik (privzeti je 128). Z zmanjšanjem delilnika se sicer zmanjša čas branja analognega vhoda, vendar se s tem zmanjša tudi resolucija oziroma natančnost analognega-digitalnega pretvornika. Glede na dokumentacijo mikrokrmilnika se natančnost začne zmanjševati pri delilniku 16. Za test smo sprogramirali kratek program, v katerem smo izmerili čas, ki je potreben za 1000 analognih branj pri različnih vrednostih delilnika.

Program za merjenje pohitritve branja analognega vhoda.

Z ukazoma »cbi« in »sbi«, ki ju definiramo na začetku programa, lahko postavljamo ali brišemo željen bit v registru.

```
#ifndef cbi
#define cbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) &= ~_BV(bit))
#endif
#ifndef sbi
#define sbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) |= _BV(bit))
#endif

void setup() {
  int start ;
  int i ;
  float tmp;
  Serial.begin(57600);
  Serial.println("Arduino Analog to Digital Conversion Test");
  // set prescale to 8
  cbi(ADCSRA,ADPS2);
  sbi(ADCSRA,ADPS1);
  sbi(ADCSRA,ADPS0);
  Serial.print("prescaler = 8: ") ;
  start = millis() ;
  for (i = 0 ; i < 1000 ; i++)
    analogRead(0) ;
  tmp=((float)(millis()-start))/1000000.0;
  Serial.print(tmp,6) ;
  Serial.print(" sec per one analog read - frequency = ") ;
  Serial.print(1.00/tmp/1000.0,1);
  Serial.print("kHz = 1/");
  Serial.print(1.00/tmp,0);
  Serial.println(" s");
}
void loop() {
}
```

ADPS2	ADPS1	ADPS0	delilnik	ADC čas [us]	ADC frekvenca [kHz]
0	0	0	2	5	200,0
0	0	1	2	5	200,0
0	1	0	4	7	142,9
0	1	1	8	11	90,9
1	0	0	16	17	58,8
1	0	1	32	29	34,5
1	1	0	64	56	17,9
1	1	1	128	113	8,8

Tabela 4.1: Rezultati, ki smo jih dobili pri različnih vrednostih delilnika

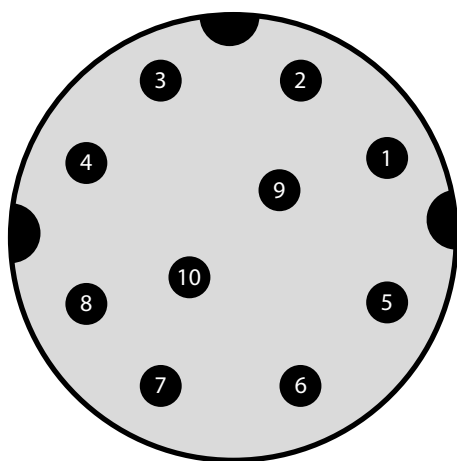
Pri vseh visokohitrostnih sprožilcih smo delilnik za čim hitrejše branje nastavili na 8. Ta nam ponuja vzorčenje s frekvenco 90kHz pri 8-bitni resoluciji ($2^8=256$) - eno branje traja 11 mikrosekund. Tako smo pospešili branje analognega vhoda za faktor 10.3.

Poleg nastavitve delilnika pa moramo v določenih primerih, na primer pri uporabi svetlobnega senzorja, spremeniti tudi analogno referenco tako, da nam na interval od 0 do 1023 preslika napetostne nivoje med 0V in 1.1V. To naredimo z ukazom `analogReference(INTERNAL)` [9]. S tem dvignemo občutljivost analognega vhoda in zaznamo spremembe fotodiode.

3.2 DSLR vmesnik

Nikon D700 omogoča priklop žičnega sprožilca ter GPS sprejemnika preko 10-nožnega priključka (»10-pin terminal plugin«). Žal Nikon zanj nima javno objavljenih specifikacij, da bi lahko vedeli, kakšne funkcije imajo nožice.

Na srečo smo med raziskovanjem po internetu zasledili neuradno sliko, na kateri so razložene funkcije posameznih nožic za fotoaparata Nikon D200 (slika 4.1) [12]. Ta uporablja enak priključek kot D700. Sedaj, ko smo poznali funkcije posameznih nožic, smo potrebovali le še kabel za priklop na 10-nožni priključek. Originalni kabel je zelo drag, zato smo naročili kopijo za četrtno cene originalnega. Žal se tu težave niso končale. Proizvajalec kabla je uporabil drugačne označbe. S testiranjem smo lahko določili funkcije nožic.



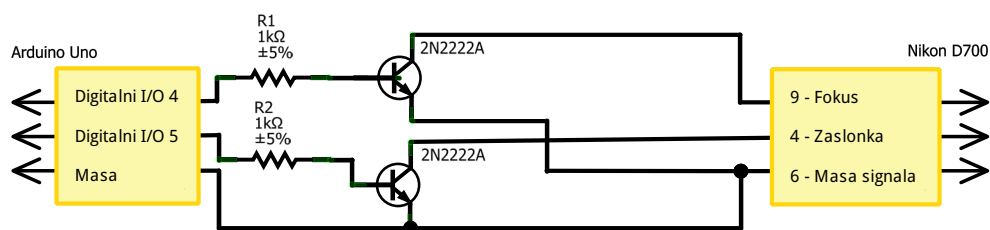
Nožica	Funkcija
1	Rx
2	Vcc 5V - baterija
3	Vcc 5V
4	Zaslonka
5	-
6	Gnd - signal
7	Gnd - napajanje
8	Tx
9	Fokus
10	-

Slika 4.1: Shema Nikonovega 10-nožnega priključka

Za nadzor fokusa in zaslonke fotoaparata smo uporabili tri nožice:

- 4 - zaslonka;
- 9 - fokus;
- 6 - masa za signale.

Ko sklenemo maso in nožico za fokus, DSLR fokusira, če nato priključimo na maso še nožico za zaslonko, potem DSLR odpre zaslonko. Zaslonka ostane odprta, dokler ne razklenemo nožic. Na ta način sprožimo DSLR. Nožici za fokus in zaslonko smo preko tranzistorjev 2N2222A priklopili na digitalna izhoda mikrokontrolerja. Ko postavimo digitalni izhod v visoko stanje, tranzistor začne prevajati in aktivira DSLR.



Slika 4.2: Shema DSLR sprožilca

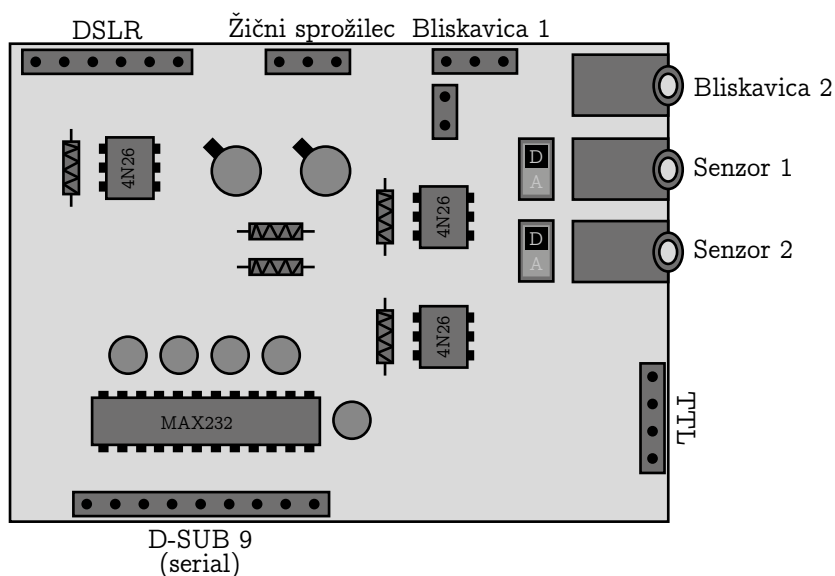
Za priklop GPS sprejemnika smo uporabili naslednje nožice:

- 2 - napajanje (iz baterije) 5V;
- 7 - masa za napajanje;
- 1 - Rx.

GPS modul napajamo direktno iz baterije DSLR-ja. Njegov izhod povežemo na Rx vhod na fotoaparatu.

3.3 Kontrolno vhodno/izhodno vezje

Kontrolno vezje je jedro sistema za kreativno fotografiranje, saj združuje vse elemente. Nanj lahko priključimo DSLR, dve bliskavici (eni lahko spreminjamo jakost bliska preko protokola TTL²), dva priključka, vsak s svojim stikalom, pa sta namenjena priklopu senzorjev in aktuatorjem (npr. laserski kazalnik). S stikali določimo, ali bo senzor/aktuator priključen na analogni vhod ali digitalni izhod. Na ta način se zmanjša potreba po uporabi več priključkov.



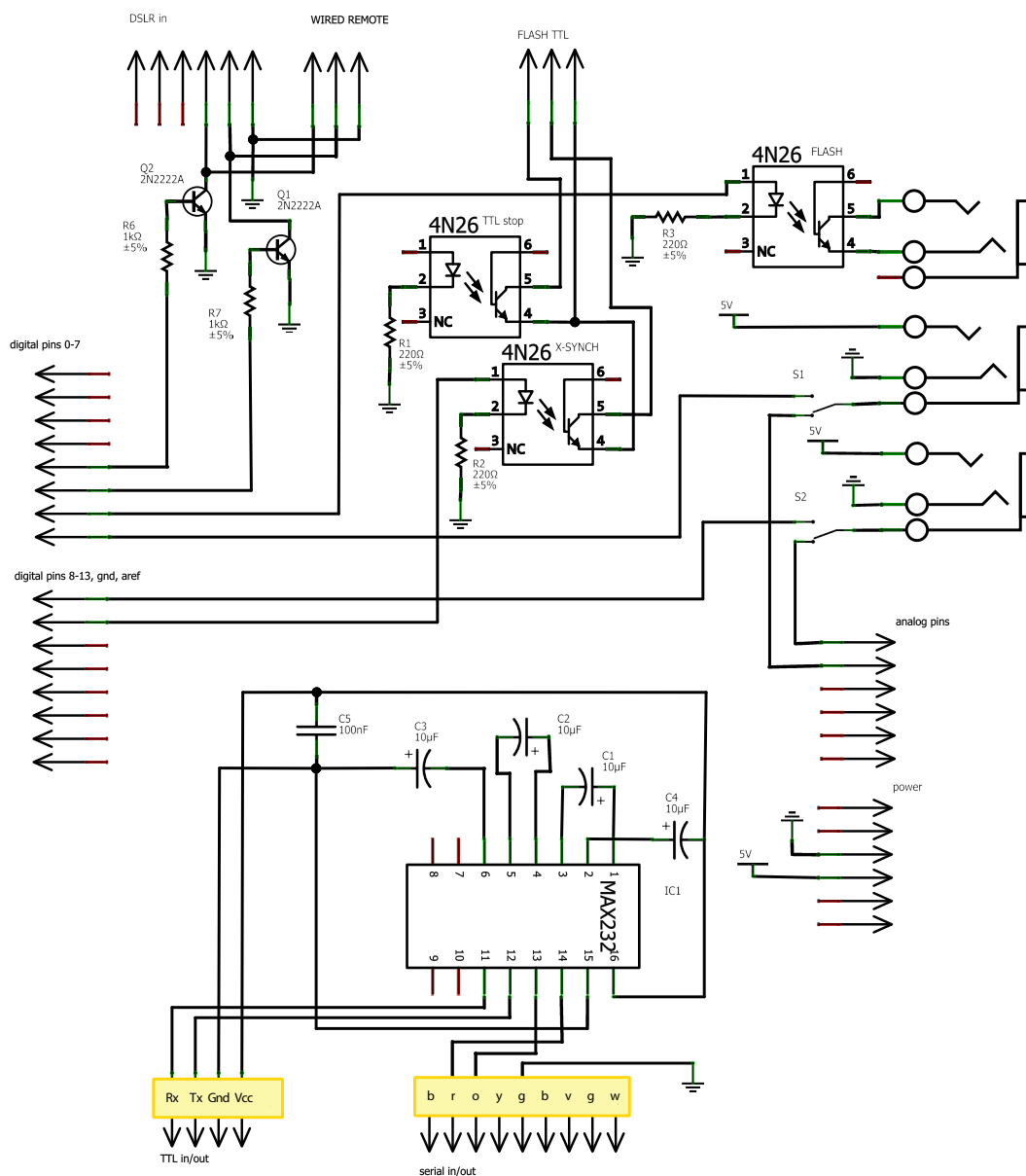
Slika 4.3: Kontrolno vezje

Od celote se loči le GPS modul, ki deluje skupaj ali samostojno, ločeno od kontrolnega vezja. Zaradi svojih majhnih dimenzij in ker se napaja neposredno iz DSLRja je zelo priročen tudi za praktično delo tovrstnega fotografiranja na terenu.

Pri začetnem testiranju smo imeli veliko težav s prvim GPS sprejemnikom, ki smo ga uporabili. Po nasvetu kolegov elektrotehnikov smo na kontrolno vezje dodali še pretvornik RS232-TTL, preko katerega smo lahko testirali, ali Nikon D700 pravilno procesira nize NMEA, ki jih oddaja GPS modul. Na računalniku smo pognali program »gpsfeed+«¹ in preko pretvornika USB-RS232-TTL nanj priključili DSLR. Ko smo ugotovili, da fotoapa-

¹ Program »gpsfeed+« je odprtokodni program, ki omogoča simuliranje GPS modula in pošilja podatke (nize NMEA) na različne izhode, med drugim tudi na serijska vrata.

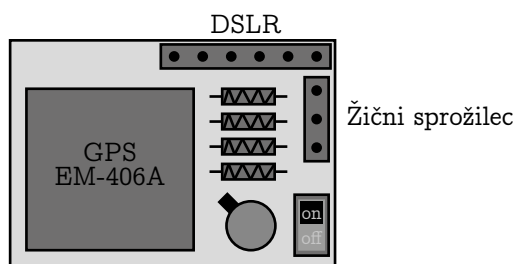
rat pravilno sprejema in obdela podatke, smo vedeli, da je težava v samem GPS sprejemniku. Pri nakupu novega sprejemnika smo se odločili za GPS modul EM-406; ta je deloval brezhibno.



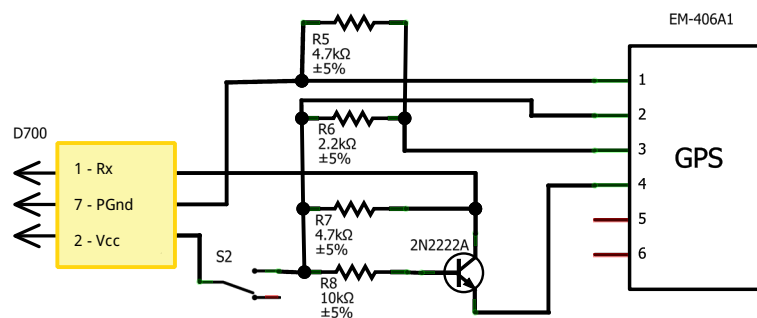
Slika 4.4: Shema kontrolnega vezja

3.4 GPS modul

Nikon D700 omogoča priklop GPS sprejemnika preko 10-nožnega priključka (10-pin terminal cable) na RX nožico. Uporabili smo USGlobalSat EM-406A GPS sprejemnik [2], ki ga lahko napajamo neposredno iz baterije fotoaparata s 5V. Ta sprejemnik uporablja nabor čipov SiRF Star III, ki ima zelo dobro občutljivost 159 dBm in kratek čas pridobivanja podatkov (42 s za hladni zagon in 8 s za vroči zagon) ter omogoča spremljanje do 20 satelitov. Na srečo ima sprejemnik tovarniško nastavljeno enako hitrost prenosa 4800 bit/s kot fotoapararat, zato je bilo za namestitev potrebno le pravilno povezati modul in DSLR. Uporablja standardni NMEA 0183 protokol. Tega sestavlja več nizov podatkov, za nas je najpomembnejši GGA (podatki za natančno 3D pozicioniranje). Nikon D700 sam obdela dobljene nize in izlušči potrebne informacije.



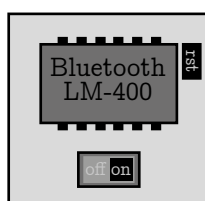
Slika 4.5: GPS modul



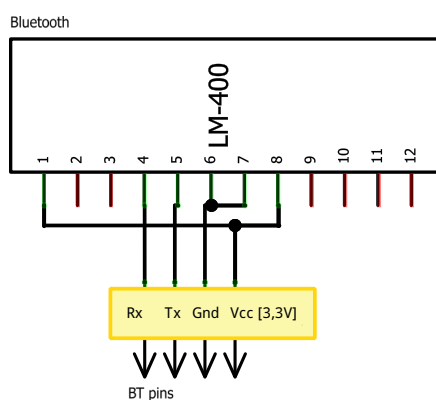
Slika 4.6: Shema GPS vezja

3.5 Brezžična komunikacija preko bluetooth modula

Najprej smo morali Bluetooth modul pravilno povezati z mikrokrmilnikom (shema), nato pa ga še pravilno nastaviti. Arduino Uno lahko komunicira z napravami preko serijskih vrat, ki jih ima na digitalnem vhodu 0 (sprejemanje podatkov) in digitalnem izhodu 1 (pošiljanje podatkov). LM-400 Bluetooth [3] modul ima že vgrajeno keramično anteno, za delovanje potrebuje napajanje med 3.0 V in 3.6 V ter napajalni tok 113 mA. Ob strani modula se nahaja gumb za resetiranje, ki ob daljšem pritisku povrne tovarniške nastavitve.



Slika 4.7: Bluetooth modul LM-400



Slika 4.8: Shema Bluetooth vezja

Pred začetkom kakršnekoli komunikacije je potrebno nastaviti hitrost prenosa na Bluetooth modulu in na mikrokrmilniku. Glede na dokumentacijo odprtokodnega razvojnega okolja Amarinio [8] za brezžično komunikacijo, je potrebno nastaviti hitrost prenosa Bluetooth modula na 57600 bit/s. LM-400 ima hitrost prenosa tovarniško nastavljeno na 19200 bit/s. Pri programiranju Bluetooth modula smo uporabili programsko knjižnico »NewSoftSerial«

[10], ki nam omogoča spremeniti navadne digitalne vhode (digitalni vhod 2) in izhode (digitalni izhod 3) v dodatna serijska vrata. Vgrajena serijska vrata uporabimo za komunikacijo med računalnikom in Arduino preko USB povezave. Tem nastavimo hitrost prenosa na 9600 bit/s, »NewSoftSerial« vrata pa za komunikacijo med Arduino in Bluetooth modulom LM-400. Rx vhod modula povežemo na digitalni vhod 2, Tx izhod pa na digitalni izhod 3. Hitrost nastavimo tu enako, kot je določena tovarniško, torej na 19200 bit/s (na modulu lahko z daljšim pritiskom na gumb za resetiranje povrnemo tovarniške nastavitve). Nato lahko na enostaven način v serijski monitor, ki nadzoruje komunikacijo med računalnikom in mikrokontrolnikom, vnesemo zelene ukaze za spreminjanje nastavitvev modula. Za modul LM-400 (verzija 4.22) lahko uporabimo naslednje ukaze:

- AT - test, vrne »OK« v primeru, da je prejel ukaz;
- AT+I1 - status nastavitvev, vrne status večina nastavitvev;
- AT+L2 - nastavi hitrost prenosa na 19200 bit/s;
- AT+L3 - nastavi hitrost prenosa na 38400 bit/s;
- AT+L4 - nastavi hitrost prenosa na 57600 bit/s;
- AT+L5 - nastavi hitrost prenosa na 115200 bit/s;
- AT+L6 - nastavi hitrost prenosa na 230400 bit/s;
- AT+P? - vrne trenutno geslo (PIN);
- AT+P=XXXX - nastavi geslo (PIN) na XXXX;
- AT+N? - vrne ime naprave;
- AT+N=XXXXXXXX - nastavi ime naprave na XXXXXXXX.

Program za nastavitve Bluetooth modula LM-400.

```
#include <NewSoftSerial.h>

NewSoftSerial mySerial(2, 3);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);          //komunikacija z PC-jem - se je ne spreminja
  Serial.println("command:");
  mySerial.begin(19200);      // baud rate, ki ga trenutno uporablja BT
  mySerial.println("response:");
  Serial.flush();
  mySerial.flush();
  delay(300);
}

void loop()                   // run over and over again
{
  if (mySerial.available()) {
    Serial.print((char)mySerial.read());
  }
  delay(100);
  if (Serial.available()) {
```

```
    mySerial.print((char)Serial.read());  
  }  
  delay(100);  
}
```

V primeru, da uporabljamo drugačen Bluetooth modul, se nastavitve naredi na podoben način (odvisno od specifikacij in ukazov modula).

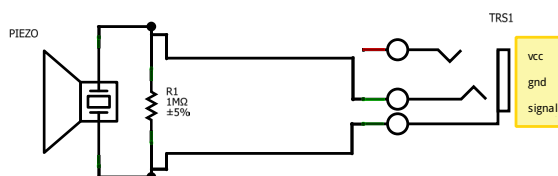
Ko spremenimo nastavitve, lahko povežemo Rx vhod in Tx izhod modula LM-400 na digitalni vhod 0 in digitalni izhod 1 na mikrokrmilniku. Sedaj lahko uporabimo vgrajena serijska vrata za komunikacijo z LM-400. Če želimo poslušati na teh vratih preko računalnika, potem nastavimo tudi serijski monitor na računalniku na hitrost prenosa, ki jo uporablja Bluetooth in mikrokrmilnik.

Pri sami komunikaciji z Android napravo smo uporabili odprtokodno knjižnico MeetArduino. Ta je vključena v razvojno okolje Amarino, ki sestavljajo še vtičnik ter programska knjižnica za programiranje Android aplikacij. S strani mikrokrmilnika je uporaba enostavna. S procedurama `receive()` in `send()` pošljamo podatke med napravama. Za prepoznavanje različnih ukazov, ki jih pošljemo preko Android naprave na mikrokrmilnik skrbi, procedura `MeetAndroid.registerFunction(izvediUkaz(), 'z')`. Ob prejetem znaku »z«, bo mikrokrmilnik izvedel proceduro »izvediUkaz«. Poleg znaka za ukaz pošlje aplikacija Android tudi izbrane parametre, ki jih preko procedure `MeetAndroid.getIntValues(int param[])` mikrokrmilnik shrani v lokalno spremenljivko »param«.

3.6 Senzorji

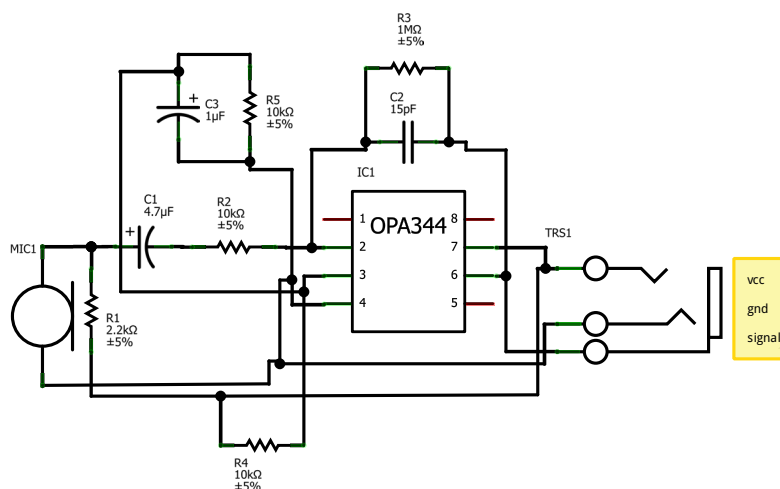
3.6.1 Zvočni senzor

Najprej smo preizkusili preprosti piezo sprožilca. Prednost tega sprožilca je, da ga je zelo enostavno narediti, vendar se aktivira le na določene in dovolj glasne zvoke (glasen tlesk ali plosk). Piezo senzor ob spremembi ustvarja napetost. V našem primeru se zaradi zvočnega valovanja zatrese njegova membrana, ki povzroči nastanek napetosti, to pa zaznamo na analognem vhodu. Pri testiranju se je izkazal za nezanesljivega, zato smo poiskali boljše rešitev.



Slika 4.9: Shema preprostega zvočnega senzorja

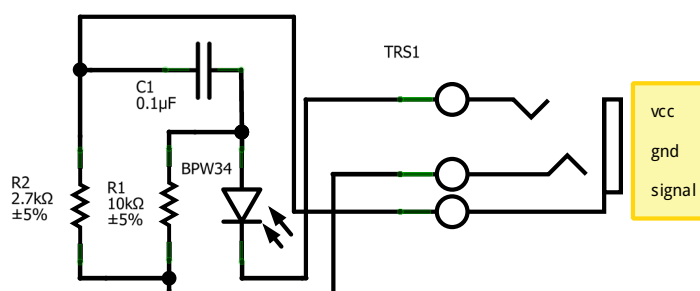
Za natančnejšo detekcijo spremembe zvoka smo uporabili mikrofon z ojačevalnikom (OPA344). Ta je veliko bolj občutljiv in lahko zazna tudi šepet.



Slika 4.10: Shema naprednega zvočnega senzorja

3.6.2 Svetlobni senzor

Eden izmed zanimivih primerov ekstremne fotografije je slikanje strele. Fotografiranje strele ponoči je enostavno, vse, kar moramo narediti, je odpreti zaslonko ter počakati na blisk strele. Ker je okolica temna, se bo skozi odprto zaslonko zelo dolgo nabirala okoliška svetloba, zato jo lahko pustimo odprto dlje časa. V trenutku, ko udari strela, se bo svetloba strele ujela na senzor. Z nekaj poizkusi in sreče lahko na dokaj enostaven način to opravimo ponoči. Podnevi pa je okoliška svetloba premočna in sliko hitro presvetlimo. Zato pri fotografiranju strel podnevi uporabljamo proženje fotoaparata s hitro zaslonko. Tu smo omejeni z zakasnitvijo fotoaparata, v našem primeru je to 40 milisekund. Blisk strele je v resnici sestavljen iz več, običajno treh ali štirih, zaporednih bliskov, ki trajajo nekaj 10 mikrosekund, med seboj pa so v razmiku 40 do 50 milisekund. Človeško oko jih zazna kot en sam blisk. Torej naše vezje mora ujeti prvi blisk, nato odpreti zaslonko in jo po približno 200 milisekundah zapreti. Za detekcijo smo uporabili fotodiodo. Ta veliko hitreje spreminja vrednosti kot fotoupor, vendar za priklop zahteva nekaj dodatnih elementov.

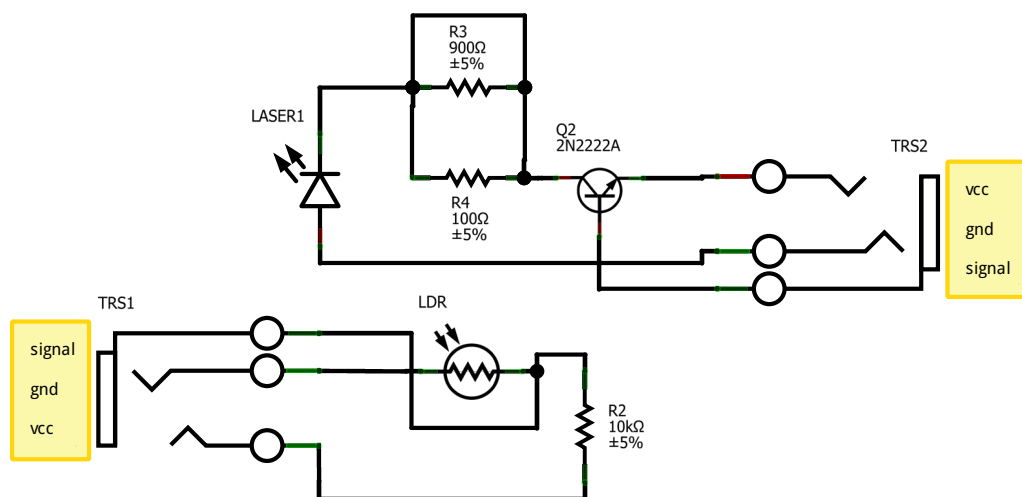


Slika 4.11: Shema svetlobnega senzorja

Fotodioda je uporabna tudi za dešifriranje Nikonovega protokola TTL za napredno osvetljevanje. S priklopom fotodiode na vhod zvočne kartice in brezplačnim programom Audacity za snemanje zvočnih posnetkov lahko posnamemo posamezne TTL ukaze, sestavljene iz več kratkih svetlobnih signalov, ki jih nadrejena bliskavica posreduje podrejenim bliskavicam. Na ta način lahko naredimo pametni sprožilec, ki krmili navadnejše bliskavice drugih proizvajalcev in jih vključimo v Nikonov sistem naprednega osvetljevanja. S tem odkrijemo novo široko področje, ki ga je moč raziskati in nato implementirati v lastnem sistemu.

3.6.3 Laserski senzor

Pri tem sprožilcu smo uporabili navadni laserski kazalnik, ki smo mu dodali napetostni delilnik in krmilni tranzistor za vklop in izklop ter ga priklopili na digitalni izhod mikrokrmilnika.



Slika 4.12: Shema laserskega sprožilca.

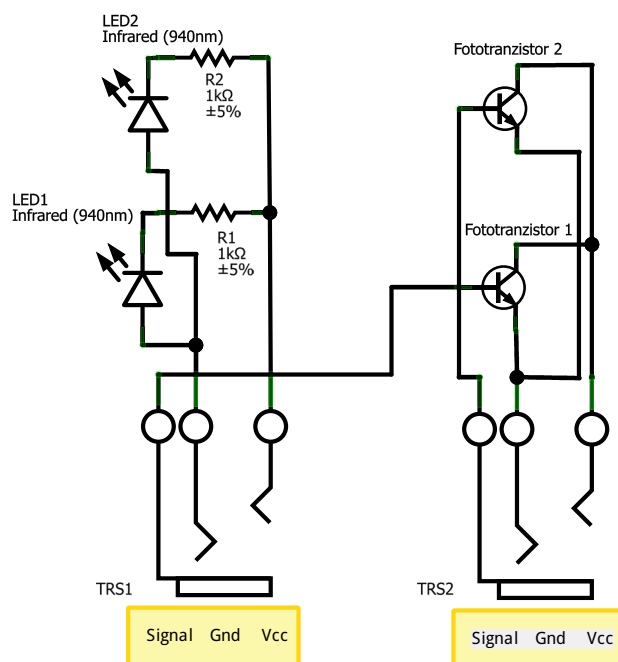
Za senzor smo uporabili navaden fotoupor, ki smo ga priklopili na analogni vhod. Ker bomo z njim fotografirali vodne kapljice (lahko ga uporabimo tudi za druge eksperimente), pri katerih uporabljamo dodatno zakasnitev, je fotoupor dovolj hiter.

Ob prekinitvi laserskega žarka oddaja fotoupor nižjo napetost kot takrat, ko je žarek usmerjen vanj.

3.6.4 Hitrostni senzor

Zelo zanimivo si je ogledati reakcijo ob trku enega predmeta v drugega. Za raziskovalne namene se za detekcijo hitrih objektov in analizo trkov uporabljajo specializirane kamere, ki omogočajo zajem 75000 sličic na sekundo. V našem primeru se bomo zadovoljili že z eno sliko, ki jo ujamemo v pravem trenutku, zato lahko namesto zelo drage kamere uporabimo naš sistem za kreativno fotografijo.

Za detekcijo izstrelkov (krogel) in njihovega stika z objekti na določeni razdalji smo uporabili dva zelo hitra senzorja - fototranzistorja in IR diodi [11]. Fototranzistor ima zelo kratek čas spremembe izhoda. Ko prekinemo IR žarek, potrebuje le 2 nanosekundi za spremembo izhoda iz 1 v 0. Seveda pa moramo poskrbeti tudi pri mikrokrmilniku za dovolj hitro branje podatkov senzorja. Namesto analognega branja vhoda smo uporabili proceduro `bitRead()` in direktno naslovili analogni pin. Kot rezultat vrne 0 (prekinjen IR žarek) ali 1. Prvi senzor je od drugega oddaljen 53 mm.



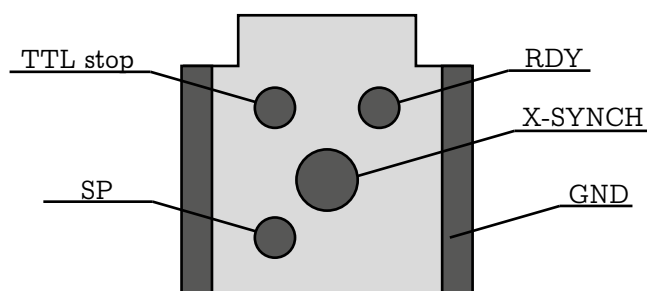
Slika 4.13: Shema hitrostnega sprožilca; levo IR diodi, desno fototranzistorja

Program izračuna čas, ki ga porabi izstrelak za pot med senzorjema, in izračuna hitrost. Nato na podlagi hitrosti in podane razdalje do objekta izračuna potrebno časovno zakasnitev in sproži bliskavico v trenutku, ko izstrelak zadene objekt.

3.6.5 TTL nadzor Nikonove bliskavice

Nikon uporablja za priklop bliskavic 5-nožni priključek, ki se imenuje »hot shoe«. Ker na njihovi uradni strani zanj ni objavljenih specifikacij ali

opisa, smo se morali zanesti na internetni članek, v katerem je na kratko predstavljena razporeditev in opis nožic priključka. Z nekaj eksperimentiranja je bilo hitro ugotovljeno, da za nadzor jakosti bliskavice potrebujemo maso, »x-synch« in »qench« ali »TTL stop« signal. Bliskavico se sproži ob priklopu x-synch nožice na maso, za nadzor jakosti pa po določenem času (v mikrosekundah) priključimo še TTL stop nožico. Jakost bliska je sorazmerna z dolžino časa, predno priključimo TTL stop nožico na maso. Daljši čas omogoči močnejši blisk.



Slika 4.14: Shema Nikonovega »hot shoe« priključka za bliskavice

3.7 Upravljanje vezja z mikrokrmilnikom

Programska koda, ki povezuje vse dele (senzorje, DSLR, bliskavice, komunikacijo z Android napravo), je razdeljena na glavni Android metodi `setup()` in `loop()`, nadzorne, pomožne in prekinitvene metode ter metode sprožilcev.

3.7.1 Metoda `void setup()`

- se izvede samo enkrat ob zagonu programa;
- v tej nastavimo in inicializiramo spremenljivke ter druge funkcije, ki skrbijo za pravilno delovanje programa;
- nastavimo prescaler ter analogno referenco na privzete vrednosti;
- odpremo serijsko povezavo z želeno hitrostjo prenosa (57600 bit/s);
- povežemo metode z ukazi, ki jih pošlje Android naprava;
- nastavimo digitalne vhode/izhode in analogne vhode.

3.7.2 Metoda void loop()

- je neskončna zanka, ki se ponavlja;
- poslušamo na serijskih vratih, v primeru, da dobimo ukaz iz Android naprave, se zažene kontrolna metoda, ki inicializira sprožilec;
- glede na nastavljen ukaz (»commandFlag«) se ponavlja izbrana metoda.

3.7.3 Nadzorne metode

- inicializirajo sprožilce senzorjev;
- nastavijo prescaler in analogno referenco;
- postavijo zastavico »commandFlag« ali izvedejo krajši ukaz:
 - void controlIntervalomer(byte flag, byte numOfValues);
 - void controlLaserTrigger(byte flag, byte numOfValues);
 - void controlProjectileTrigger(byte flag, byte numOfValues);
 - void controlLightTrigger(byte flag, byte numOfValues);
 - void controlSoundTrigger(byte flag, byte numOfValues);
 - void cancelTrigger(byte flag, byte numOfValues);
 - void controlShutter(byte flag, byte numOfValues);
 - void controlFocus(byte flag, byte numOfValues);
 - void controlFlash(byte flag, byte numOfValues);
 - void controlFlashTTL(byte flag, byte numOfValues);
 - void controlLaser(byte flag, byte numOfValues).

3.7.4 Metode sprožilcev

- tu se izvaja glavna logika senzorjev;
- glede na zastavico »commandFlag« se znotraj metode loop() ponavlja izvajanje posameznih sprožilcev:
 - void intervalomer(long x, long n, long intervalTotal, long interval);
 - void soundTrigger(int sensorPin, int sensitivity, int TTL, int flashDelay);
 - void laserTrigger(int sensorPin, int treshold, int TTL, int flashDelay);
 - void projectileTrigger(int xx, int yy, int TTL, int targetDistance).

3.7.5 Pomožne metode

Metode za upravljanje fokusiranja in proženja fotoaparata, bliskavice, ponastavljanje časovnega števca, nastavitve delilnika (prescaler) ter strojne prekinitve (ISR).

- void takePhoto();
- void focusPhoto(int time);
- void fastFireFlash(int TTL);
- void bulbMode();
- void resetTimer0();
- void setPrescaler(int p);
- ISR(TIMER1_OVF_vect).

3.8 Android aplikacija

Odločili smo se, da za upravljanje s sistemom uporabimo Android napravo. V našem primeru smo testirali z Acerjevim tabličnim računalnikom A500, zato smo postavitev elementov prilagodili za večje ekrane (1280x800). Enako aplikacijo lahko uporabimo tudi na mobilnikih, vendar bi morali pred tem prilagoditi postavitev elementov za manjše ekrane. Za programiranje Android aplikacije smo uporabili Eclipse IDE razvojno okolje, Android SDK razvojni paket in ADT vtičnik. Za komunikacijo z mikrokrmilnikom smo uporabili odprtokodno razvojno okolje Amarino, ki skupaj s knjižnico MeetAndroid na mikrokrmilniku skrbi za pravilno izmenjavo podatkov preko Bluetooth povezave. Amarino zahteva, da se na Android napravo poleg naše aplikacije namesti Amarino aplikacijo, ki vzdržuje povezavo z mikrokrmilnikom.



PhotoCreative

Intervalometer Sound Trigger Light Trigger **Laser Trigger** Projectile Trigger

Control	Sensitivity			Flash TTL strength			Flash Delay			Bluetooth
OFF	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Connect
Laser OFF	3	0	0	0	2	0	0	0	0	Disconnect
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Reset Trigger

Sensor = Plugin 1
Laser = Plugin 2

Select Flashgun: Flashgun TTL Mode Flashgun Manual Mode Triggered at level: (no data)

Manual Control:

Shutter	Focus	Fire Flash	Fire TTL Flash
---------	-------	------------	----------------

Slika 4.15: Android aplikacija - Laserski sprožilec

Osnovne komponente Android aplikacijo so:

- »Activity« - predstavlja zaslon z uporabniškim vmesnikom;
- »Service« - je opravilo, ki teče v ozadju aplikacije brez vmesnika;
- »Content provider« - skrbi za povezavo podatkovnih struktur;
- »Broadcast receiver« - komponenta, ki se odziva na sistemska broadcast sporočila.

Poleg osnovnih komponent smo za lažji vnos podatkov preko na dotik občutljivega zaslona uporabili še eno odprtokodno komponento »Number-Picker«.

Najpomembnejše datoteke, ki sestavljajo Android aplikacijo:

- .java - razred (activity), ki skrbi za funkcionalnost aplikacije;
- R.java - reference posameznih objektov znotraj aplikacije;
- layout.xml - izgled in postavitev elementov;
- manifest.xml - osnovne nastavitve (pravice) Android aplikacije.

Našo aplikacijo sestavlja glavni »activity«, v katerem se inicializira zavihke in poslušalca Bluetooth povezave. Ta obdela in prikaže podatke, ki jih pošlje mikrokrmilnik Android napravi. Vsak zavihkek predstavlja ločen »activity«, ki uporabniku prikaže vmesnik za nastavitve parametrov ter nadzor nad kontrolnim vezjem in senzorjem. Po inicializaciji zavihkov se nato izvede procedura za povezavo z Bluetooth modulom. Njegov fizični naslov, ki je potreben za vzpostavitev povezave, smo zaradi preprostejšje izvedbe vnesli kar v izvirno kodo aplikacije.

Ena izmed prednosti sistema je v tem, da po aktiviranju nekega senzorja, mikrokrmilnik opravlja svoje delo neodvisno od Android naprave. Android naprava lahko med delovanjem prekine povezavo z mikrokrmilnikom in jo kasneje zopet vzpostavi.

Aplikacijo sestavlja pet zavihkov. Vsak izmed njih krmili svoj sprožilec: intervalomer, zvočni sprožilec, svetlobni sprožilec, laserski sprožilec, hitrostni sprožilec.

3.8.1 Intervalomer

Za zajem intervalnih fotografij uporabimo intervalomer. Ta lahko deluje na dva načina. V prvem nastavimo število slik, ki jih želimo, da jih zajame

DSLR na minuto ter čas trajanja. Aplikacija pošlje podatke na mikrokrmilnik, ta izračuna interval zajema slik in sproži merilnik časa. Mikrokrmilnik ob vsakem zajemu fotografije pošlje status o številu zajetih fotografij, aplikacija pa glede na to vrednost prikaže preostali čas trajanja intervalometra.

Drugi način se od prvega razlikuje glede na način zajema fotografije. Nastavimo število slik, za katere želimo, da jih DSLR ob vsakem intervalu zajame zaporedoma in določimo interval ter čas trajanja. To je uporabno, kadar želimo uporabiti fotografsko tehniko »bracketing¹« za ustvarjanje fotografij s širokim tonskim razponom (angl. High Dynamic Range ali HDR).

3.8.2 Zvočni sprožilec

Ob aktivaciji zvočnega sprožilca začne mikrokrmilnik ob vsakem prehodu zanke primerjati vrednost sensorja prejšnjega in trenutnega analognega branja. Ob previsoki razliki² zazna ekstrem oziroma dogodek, ob katerem sproži bliskavico in odpre ali zapre zaslonko (bulb mode). V aplikaciji izberemo željeno občutljivost sensorja ter nastavimo jakost bliskavice. Po potrebi lahko nastavimo tudi zakasnitev bliskavice v mikrosekundah.

3.8.3 Svetlobni sprožilec

Svetlobni sprožilec je uporaben za fotografiranje strel. Tako kot zvočni sprožilec deluje tudi svetlobni na podoben način, vendar namesto bliskavice sprožimo DSLR. Ker je blisk strele sestavljen iz več krajših bliskov, ki so med seboj ločeni v presledkih nekaj deset milisekund, lahko s sensorjem zaznamo prvi blisk, nato aktiviramo fotoaparatus, ki zagotovo ujame tretji in četrti blisk. Svetlobni sprožilec pa lahko uporabimo tudi za napredni sistem osvetljevanja, saj lahko z njim prepoznamo sinhronizacijski signal, ki ga pošlje nadrejena bliskavica vsem podrejenim. Tako lahko v sistemu naprednega osvetljevanja CLS uporabimo navadne in cenejše bliskavice, ki tega običajno ne podpirajo. Te funkcije žal zaradi preobsežnosti celotnega diplomskega dela nismo implementirali.

1 »Bracketing« je tehnika fotografiranja, kjer isti motiv večkrat fotografiramo z različnimi nastavitvami osvetlitve. Posnete fotografije s pomočjo programa za obdelavo slik (npr. Adobe Photoshop) nato združimo v eno fotografijo.

2 Zaradi zmanjšane delilnika moramo upoštevati tudi manjšo resolucijo analognega branja.

3.8.4 Laserski sprožilec

Na prvi priključek kontrolnega vezja priklopimo fotoupor, na drugi priključek pa laserski kazalnik, ki ga preko stikala povežemo na digitalni izhod. Za zaznavanje prekinitve žarka nastavimo v aplikaciji občutljivost, jakost bliskavice ter zakasnitev bliska. Za razliko od svetlobnega in zvočnega sprožilca mikrokrmilnik preverja, ali vrednost sensorja presega prag občutljivosti in ob prekinitvi žarka sproži bliskavico.

3.8.5 Hitrostni sprožilec

Preko aplikacije pošljemo mikrokrmilniku podatke o razdalji med prvim sensorjem in opazovanim objektom ter jakost bliskavice. Mikrokrmilnik ob uspešni prekinitvi obeh sensorjev (v razmiku največ 1 sekunde) izračuna hitrost krogle in zakasnitveni čas, ki je potreben, da krogla zadane opazovani objekt. Nato sproži bliskavico in Android aplikaciji pošlje izračunane podatke.

Poglavje 5

Sklepne ugotovitve

V diplomskem delu smo morali najprej rešiti problem fotografije, saj smo preučili več možnih pristopov zajema fotografij z ekstremno osvetlitvijo. Ko smo spoznali osnovne principe zajema takšnih fotografij, smo se lahko lotili reševanja problema na računalniškem področju. Delo je zajemalo načrtovanje kontrolnega vezja in senzorjev ter njihovo implementacijo, programiranje in optimizacijo mikrokrmilnika ter programiranje kontrolne aplikacije za Android napravo.

Sistem za kreativno fotografijo omogoča preprosto brezžično krmiljenje DSLR-ja preko naprave Android in kontrolnega vezja. Na ta način izberemo in pošljemo ukaz mikrokrmilniku, ki poskrbi za upravljanje priključenih naprav (senzorjev, bliskavic, fotoaparata). Ponuja nam osnovne funkcije za ročni nadzor fotoaparata, kot je fokusiranje in zajem fotografije, avtomatično zajemanje fotografij z intervalomerom ter proženje bliskavice z različnimi senzorji (zvočni, svetlobni, laserski, hitrostni) za zajem izjemno kratkih trenutkov. Na sistem priklopimo DSLR in dve bliskavici, pri čemer lahko eni preko sistema nastavimo izhodno moč bliska. Posebno vezje, ki ga lahko uporabimo skupaj ali ločeno od kontrolnega vezja, pa nam omogoča geopozicioniranje fotografij. Po želji se lahko sistem razširi z dodatnimi priključki za upravljanje več naprav ali senzorjev.

Ugotovili smo, da sistem po začetni kalibraciji senzorjev deluje zelo dobro in služi svojemu pravemu namenu - zajeti fotografije s pomočjo ekstremne osvetlitve. Žal zaradi okoliščin nismo mogli preveriti delovanja svetlobnega sprožilca, s katerim smo želeli posneti fotografijo strele. Sistem za kreativno fotografijo je namenjen ustvarjanju umetniških fotografij z navadno fotografsko opremo. Za resnejšo uporabo v raziskovalne namene bi bilo potrebno uporabiti specializirano opremo (npr. hitrejši mikrokrmilnik, hitro

stroboskopsko luč itd.). Tu lahko omenimo, da pri implementaciji sistema nismo omejeni samo na platformo Android, ampak lahko namesto nje uporabimo katerokoli izmed obstoječih mobilnih naprav in njihovih operacijskih sistemov (npr. Symbian, iOS, Window, Linux itd.). Podobno velja tudi za mikrokrmilnik.

Največjo težavo so nam pri praktični uporabi povzročale zakasnitve. Čeprav smo večino zakasnitev izničili oziroma minimizirali, nam je ostala ena, ki se je nismo mogli znebiti - komunikacija med mikrokrmilnikom in napravo Android. Ob vklopu sistema mikrokrmilnik v zanki »poslušá« na serijskih vratih, ki služijo za brezžično komunikacijo z napravo Android. Preko nje lahko pošljemo ukaz in z njim izbrane parametre za vklop ali izklop posameznega sprožilca. Mikrokrmilnik ob prejetem ukazu v zanki začne poleg poslušanja naslednjega ukaza izvajati proceduro sprožilca - branje analognega vhoda, na katerem je priklopljen senzor. Posamezna izvedba procedure za poslušanje na serijskih vratih traja 30 mikrosekund (v primeru, da ne pošljemo ukaza). Zaradi te zakasnitve se lahko zgodi, da sistem zgreši zelo hitre dogodke ali pa se odzove prepočasi. To smo opazili pri zvočnem sprožilcu, kjer se mora sistem odzvati čim hitreje in brez zakasnitve. Temu problemu se je mogoče izogniti z uporabo časovnika oziroma zanke, v kateri se za določen čas (nekaj sekund) ponavlja samo procedura sprožilca, nato pa se sprožilec izklopi in sistem zopet začne poslušati na serijskih vratih.

Trenutni sistem je v prihodnosti smiselno razširiti še z možnostjo krmljenja studijskih luči ter naprednega krmljenja bliskavic. Eden izmed načinov za tako razširitev je izvedljiv s pomočjo svetlobnega sensorja. Ta lahko prestreže ukaze za jakost bliska in sinhronizacijo, ki jih pošlje nadrejena bliskavica¹ in tako poskrbi za pravilno proženje ostalih (cenejših) priklopljenih bliskavic. Le-te običajno ne podpirajo Nikonovega kreativnega sistema osvetljevanja.

Skozi raziskovanje in izdelavo sistema za kreativno fotografiranje smo ugotovili, da nam združenje dveh različnih platform mikrokrmilnika in Android naprave lahko pomaga olajšati delo ne samo pri fotografiranju, ampak

¹ Nadrejena bliskavica (angl. master flashgun) preko i-TTL protokola pošlje zaporedje svetlobnih signalov, s katerimi sinhronizira sprožitev in jakost ostalih bliskavic.

tudi v gospodinjstvih in industriji. Možnih implementacij za aplikativno uporabo takšnega sistema je veliko. Sistem se lahko zelo dobro uporabi v tako imenovani »pametni hiši« (angl. smart house) za zmanjšanje porabe energije, varovanje in ostala opravila, ki jih želimo avtomatizirati. Omejeni smo le z našo domišljijo.

Dodatek A

Fotografije



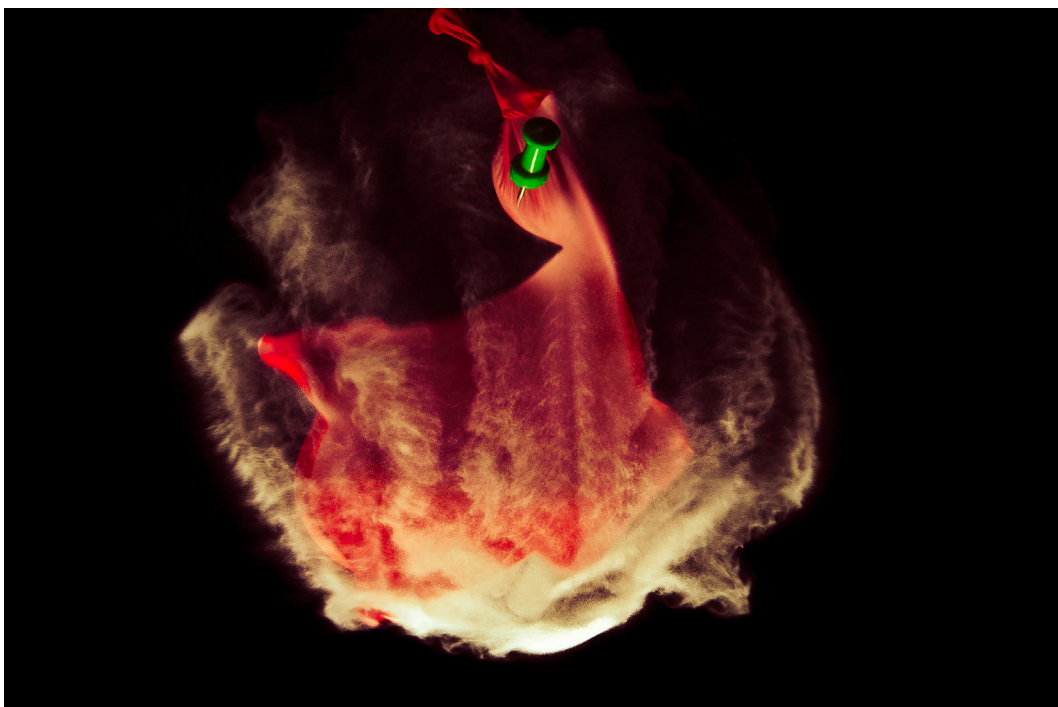
Slika 1: Pljusk vodne kapljice. Laserski sprožilec (150 mm f/13 @ 5 s, ISO 320).



Slika 2: Vodni steber. Laserski sprožilec (150 mm f/13 @ 1.4 s, ISO 100).



Slika 3: Vodne kapljice. Laserski sprožilec (150 mm f/13 @ 1 s, ISO 100).



Slika 4: Pok balona. Zvočni sprožilec (62 mm f/10 @ 1.8 s, ISO 200).



Slika 5: Pok vodnega balona. Zvočni sprožilec (70 mm f/2.8 @ 1.5 s, ISO 200).



Slika 6: Pok vodnega balona. Zvočni sprožilec (62 mm f/10 @ 1.3 s, ISO 200).



Slika 7: Grozdna jagoda v trenutku zadetka krogle zračne puške. Hitrostni sprožilec (150 mm f/10 @ 1.8 s, ISO 1600).



Slika 8: Grozdna jagoda v trenutku zadetka krogle zračne puške. Hitrostni sprožilec z dodatno zakasnitvijo 0.1 ms (150 mm f/10 @ 1.7 s, ISO 1600).



Slika 9: Žarnica v trenutku zadetka kroglice zračne puške. Hitrostni sprožilec z dodatno zakasnitvijo 0.3 ms (150 mm f/8 @ 3.6 s, ISO 1600).



Slika 10: Žarnica v trenutku zadetka kroglice zračne puške. Hitrostni sprožilec z dodatno zakasnitvijo 0.4 ms (150 mm f/8 @ 3.6 s, ISO 1600).



Slika 11: Vodni balon v trenutku zadetka krogle zračne puške. Hitrostni sprožilec z dodatno zakasnitvijo 0.7 ms (70 mm f/8 @ 1.7 s, ISO 1000).



Slika 12: Vodni balon v trenutku zadetka krogle zračne puške. Hitrostni sprožilec z dodatno zakasnitvijo 0.7 ms (60 mm f/3.5 @ 1.8 s, ISO 800).



Slika 13: Vodni balon v trenutku zadetka krogle zračne puške. Hitrostni sprožilec z dodatno zakasnitvijo 0.9 ms (60 mm f/4.5 @ 1.6 s, ISO 1000).



Slika 14: Vodni balon v trenutku zadetka krogle zračne puške. Hitrostni sprožilec z dodatno zakasnitvijo 1.2 ms (50 mm f/8 @ 1.3 s, ISO 1000).



Slika 15: Vodni balon v trenutku zadetka krogle zračne puške. Hitrostni sprožilec z dodatno zakasnitvijo 2 ms (52 mm f/9 @ 1.1 s, ISO 1000).

Seznam slik

2.1: Razlika v velikosti FX in DX senzorja	7
2.2: Levo - Nikon D700; sredina - objektiv Nikkor 24-70 mm f/2.8; desno objektiv Sigma 150 mm f/2.8 Macro	8
2.3: Primer odprte in zaprte zaslonke.	9
2.4: Bliskavica Nikon SB-600.	9
2.5: Levo - »Hot shoe« podaljšek, desno - žični sprožilec Nikon MC-DC2. 10	
2.6: Mikrokrmilnik Arduino Uno	11
2.7: Acer A500 z Android 3.1 Honeycomb operacijskim sistemom	12
2.8: Levo - Bluetooth modul LM-400, desno - GPS modul EM-406A	12
3.1: Idejna zasnova celotnega sistema.	18
3.2: Primer pravilne postavitve opreme pri uporabi hitrostnega sprožilca. 19	
4.1: Shema Nikonovega 10-nožnega priključka	22
4.2: Shema DSLR sprožilca	23
4.3: Kontrolno vezje	24
4.4: Shema kontrolnega vezja	25
4.5: GPS modul	26
4.6: Shema GPS vezja.	26
4.7: Bluetooth modul LM-400	27
4.8: Shema Bluetooth vezja.	27
4.9: Shema preprostega zvočnega senzorja	30
4.10: Shema naprednega zvočnega senzorja	30
4.11: Shema svetlobnega senzorja	31
4.12: Shema laserskega sprožilca.	32
4.13: Shema hitrostnega sprožilca; levo IR diodi, desno fototranzistorja . . 33	
4.14: Shema Nikonovega »hot shoe« priključka za bliskavice.	34
4.15: Android aplikacija - Laserski sprožilec	37

Seznam tabel

3.1: Izhodna moč bliskavice Nikon SB600.	15
3.2: Nikon SB600 - GN pri ISO 100 (metri)	16
3.3: Faktorji za množenje GN pri različnih ISO vrednostih	16
4.1: Rezultati, ki smo jih dobili pri različnih vrednostih delilnika	21

Literatura

- [1] Atmel Corporation. *Atmega328 Datasheet*. 2011.
- [2] Globalsat Technology Corporation. *GPS EM-406A Specifications*. 2006.
- [3] LM Technologies Ltd. *LM-400 Datasheet*. 2008.
- [4] D. Nightingale, *Extreme Exposure*. Ilex. United Kingdom 2010.
- [5] Nikon Corporation. *Nikon D700 User's Manual*. 2008.
- [6] Nikon Corporation. *Nikon SB-600 Instruction Manual*. 2004.
- [7] V. Pečjak. *Psihologija spoznavanja*. Državna založba Slovenije. Ljubljana 1975.
- [8] (2011) Amarino. Amarino toolkit. Dostopno na <http://www.amarino-toolkit.net>.
- [9] (2011) Arduino. Arduino reference. Dostopno na <http://arduino.cc/en/Reference>.
- [10] (2010) Arduiniana. NewSoftSerial. Dostopno na <http://arduiniana.org/libraries/newsoftserial>.
- [11] (2011) Camera Axe. Camera Axe. Dostopno na <http://www.cameraaxe.com>.
- [12] (2008) Peter Miller Photography. Build Notes for DIY Nikon GPS. Dostopno na <http://www.petermillerphoto.com/nikongps/nikongps2.html>.