



LiDAR-sensorilla toimiva automaattinen luontokuvausjärjestelmä

Antti Taipale

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2022

Tieto- ja viestintäteknikka
Sulautetut järjestelmät ja elektroniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tieto- ja viestintäteknikka
Sulautetut järjestelmät ja elektroniikka

TAIPALE, ANTTI:

LiDAR-sensorilla toimiva automaattinen luontokuvausjärjestelmä

Opinnäytetyö 34 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Huhtikuu 2022

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja rakennettiin automaattinen luontokuvausjärjestelmä. Järjestelmä oli tarkoitettu rakentaa niin, että sen voi viedä keskelle metsää, jossa se ottaa kuvia järjestelmäkameralla syöttöpaikalle ilmaantuvista eläimistä. Laitteistoon tuli siis kiinnittää akku sekä GSM-moduuli, jonka avulla pystyttiin ilmoittamaan haluttuun puhelinnumeroon siitä, että eläin on havaittu ja kuvia on otettu, sekä akun vähäisestä varauksesta.

Opinnäytetyössä jouduttiin käyttämään 12 V akkua suuren virrankulutuksen vuoksi ja tästä syystä jouduttiin myös hakkuriregulaattoria hyväksi käyttäen tiputtaa jännite järjestelmällä suotuisaan 5 V. GSM-moduulin kytkemällä SIM-kortin saatiin yhteys GSM-verkkoon, jonka kautta saatiin lähettyä tekstiviestejä omaan puhelimeen. Akun navoista täytyi myös suoraan mitata jännitettä, jotta voitiin tulkitä, milloin akun varaustaso on heikentynyt oleellisesti. Tätä varten täytyi tehdä jännitteenjakokytkentä, koska järjestelmään ei voi suoraa syöttää 12 V eikä mitausta voitu suorittaa myöskään hakkurista, koska se on aina 5 V vaikka akun jännite laskisi 11 V.

Kaikki työn suunnittelu ja toteuttaminen käydään läpi yksityiskohtaisesti ja vaiheittain. Laitteiston toiminnot tulivat suunnitellusti valmiiksi ominaisuuksineen. Kun LiDAR-anturi havaitsee 200 mm muutoksen laukaisee systeemi kameran viisi kertaa kahden sekunnin välein. Tämän jälkeen lähtee tekstiviesti, joka kertoo, että näin on tapahtunut. Jos taas akun jännitetaso tippuu alle 11,5 V, lähtee tekstiviesti, että akun jännitetaso on todella matala ja varaus saattaa loppua pian.

Yhteenveto työstä on, että tarvittavat toiminnot saatiin kehitettyä sekä toteutettua. Kehittämissideoita syntyi jatkoa varten, kuten virrankulutuksen vähentäminen ja parempi ilmoitustapa, kuin tekstiviesti. Esimerkiksi otetuista kuvista lähetettäisiin thumbnail-kuvia palvelimelle, josta voi tarkastella otettuja kuvia.

Asiasanat: LiDAR, luontokuvaus, Arduino

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
ICT engineering
Embedded systems and electronics

TAIPALE, ANTTI:
LiDAR sensor-based automatic wildlife photography system

Bachelor's thesis 34 pages, appendices 0 pages
April 2022

The aim of this thesis was to design and build an automatic wildlife photography system. The system was to be built in such a way that it could be taken into the middle of the forest, where it would take pictures of the animals appearing at the feeding site with a system camera. The equipment therefore had to be fitted with a battery and a GSM module to notify the desired phone number that an animal had been spotted and pictures had been taken, and if battery charge would be low.

The thesis had to use a 12 V battery because of the high-power consumption and for this reason it was also necessary to use a switching regulator to reduce the voltage to 5 V. By connecting the GSM module to the SIM card, a connection to the GSM network was established, allowing text messages to be sent to your phone. It was also necessary to measure the voltage directly at the battery poles in order to interpret when the battery's charge level had deteriorated significantly. In order to do this, a voltage divider had to be made, because the system cannot be supplied with 12 V directly and the measurement could not be made from the switching regulator either, because it is always at 5 V even if the battery voltage drops to 11 V.

All the planning and implementation of the work will be gone through in detail step-by-step. The functionality of the hardware came as planned with all the features in place. When the LiDAR sensor detects a 200 mm change, the system triggers the camera five times every two seconds. This is followed by an SMS message telling you that this has happened. If the battery voltage level drops below 11.5 V, an SMS message is sent indicating that the battery voltage level is very low and may run out of charge soon.

As a summary of the work, the necessary functions were developed and implemented. Development ideas were born for further work, such as reducing power consumption and a better notification method than SMS. For example, thumbnail images of taken pictures would be sent to the server, where you could view the taken pictures.

Key words: LiDAR, wildlife photography, Arduino

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	LIDAR TEKNOLOGIA	7
	2.1 LiDARin historia	7
	2.2 LiDARin toimintaperiaate ja käyttökohteet	7
3	RIISTAKAMERAN TOIMINTA	9
	3.1 Riistakameroissa käytettävä tekniikka.....	9
	3.2 Riistakameran mahdolliset käyttötarkoitukset	10
4	LAITTEISTO JA VÄLINEET	11
	4.1 ESP8266 NodeMCU Wemos D1 Mini -kehitysalusta	11
	4.2 TeraRanger Evo 60m -etäisyysanturi.....	12
	4.3 Arduino Mega 2560 -kehitysalusta	13
	4.4 Arduino IDE -kehitysympäristö.....	14
	4.5 SIM900 GSM-moduuli.....	15
	4.6 DFR0379 hakkuriregulaattori	15
	4.7 Hakkuriregulaattorin toimintaperiaate.....	17
5	JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA TESTAUS	19
	5.1 Ensimmäinen testausvaihe	19
	5.1.1 ESP8266 alustaminen ja käyttöönotto.....	19
	5.1.2 TeraRanger Evon kytkentä.....	19
	5.1.3 I2C-väylän toimintaperiaate.....	21
	5.1.4 Ledin kytkentä testausta varten	23
	5.2 Toinen testausvaihe	23
	5.2.1 Kehitysalustan vaihto Arduino Megaan	23
	5.2.2 GSM-moduulin testaaminen ja kytkentä	25
	5.2.3 UART-piirin toimintaperiaate	26
	5.3 Kolmas testausvaihe	27
	5.3.1 Piirin kytkentä teholähteeseen hakkuriregulaattorin avulla .	27
	5.3.2 Akun jännitteen mittaaminen ja syöttö Arduinolle	28
	5.4 Valmiiksi todetun järjestelmän testaus	29
6	POHDINTA	31
	LÄHTEET.....	33

ERITYISSANASTO

<i>c</i>	valonnopeus, s
<i>d</i>	säteen kulkema matka, m
<i>U</i>	jännite, V
<i>I</i>	virta, A
<i>I/O</i>	sisään- tai ulostulo
<i>f</i>	<i>kellotaajuus</i> , Hz
<i>P</i>	teho, W
λ	aallonpituus, nm

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena rakentaa riistakameran kaltainen luontokuvausjärjestelmä käyttämällä mikrokontrolleria, LiDAR-anturia, sekä 12 V auton käynnistysakkua ja GSM-moduulia. Kaikki komponentit laitteiston rakentamiseen on saatu Tampereen ammattikorkeakoululta.

Laitteen tarkoituksena on havaita eläin syöttöpaikalla optisen etäisyysanturin avulla, jonka toiminta perustuu LiDAR-tekniikkaan. Käytännössä laitteisto toimisi niin kuin perinteinen riistakamera, mutta sen tarkoituksena on ottaa laadukkaita luontokuvia. Anturi on kytkettynä mikrokontrolleriin, joka anturin havaitessa etäisyyden muutoksen laukaisee laitteistoon kytketyn järjestelmäkameran, joka ottaa kuvan syöttöpaikalla olevasta eläimestä. Ohjauslaitteena systeemille työssä käytettiin alun perin ESP8266 -mikrokontrolleria, mutta se vaihdettiin myöhemmin malliin Arduino Mega 2560. Mikrokontrollerin vaihdon syistä kerrotaan kappaleessa 5.2.1.

Laitteisto suunniteltiin toimimaan keskellä metsää käyttämällä 12 V auton akkua, sekä GSM-moduulia, jonka avulla voidaan käyttää matkapuhelinliittymää, ja sen kautta voidaan lähettää tekstiviestejä haluttuun numeroon. Laitteiston on tarkoitus myös ilmoittaa tekstiviestillä, mikäli akun varaustaso on matala.

2 LIDAR TEKNOLOGIA

Tässä luvussa kerrotaan LiDARin historiasta ja kehittymisestä, sekä toimintaperiaatteesta ja käyttökohteista.

2.1 LiDARin historia

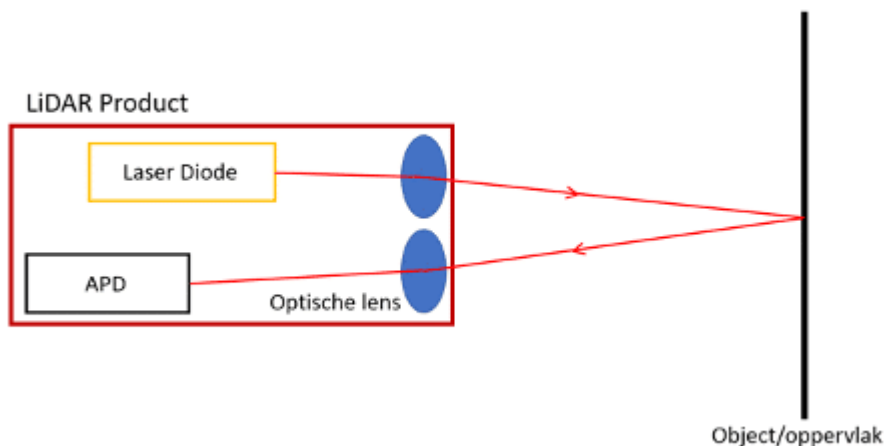
LiDAR on ilmakehän etäluotaustekniikka, jossa käytetään laserenergiaa tutkan tavoin. Siinä yhdistyvät säätutkan periaatteet ja vanhemmat optisen sironnan käsitteet. (Collis, R.T.H. 1970, 1782.)

Tutkan periaatetta sovellettiin ensimmäisen kerran ilmakehän havainnointiin valon aallonpituuksilla ja erityisesti pulssitutkan peruskonseptia käytettiin pilvipeitteen korkeuden määrittämiseen Ranskassa jo vuonna 1938. Sähkökipinöiden tuottamia valopulsseja heijastettiin pilvistä, jotta niiden korkeus voitiin määrittää valoenergian kiertoajan perusteella. Samoin ilmakehän läpäisykyvyn mittaamiseen sekä yläilmakehän tutkimiseen yritettiin käyttää pulssivaloa. (Collis, R.T.H. 1970, 1782.)

Pulssilaserin kehittäminen merkitsi merkittävää edistystä tämän tekniikan soveltamisessa. Ilmakehän tutkimuksissa sekä meteorologiassa alettiin käyttämään laserilla toimivaa tutkaa eli LiDARia. Näin ollen siitä tuli tärkeä havainnointitekniikka kyseisellä alalla. (Collis, R.T.H. 1970, 1782.)

2.2 LiDARin toimintaperiaate ja käyttökohteet

LiDAR on aktiivietäisyystunnistin-menetelmä. Se ei vaadi sähkömagneettista säteilyä, vaan se tallentaa laserpulsseja, jotka osuvat kohteeseen ja palaavat takaisin anturiin. LiDAR mittaa anturin ja kohteen välisen etäisyyden määrittämällä laserpulssin lähettämisen ja heijastuneen pulssin vastaanottamisen välisen ajan. Kun tämä aika kerrotaan valon nopeudella ja jaetaan kahdella, saadaan anturin ja kohteen välinen etäisyys. Kuviossa 1 on esitetty LiDAR-anturin toimintaperiaate.



KUVIO 1. LiDAR-anturin toimintaperiaate havainnollistettuna kuvassa (sensor-partners, n.d.)

Kuviossa 1 nähdään, kun laseri lentää LiDAR-anturista kohteeseen ja heijastuu sieltä takaisin optiseen linssiin, josta sen lentoaika pystytään määrittämään ja sen avulla voidaan laskea lentomatka kaavan 1 mukaisesti.

$$d = c \cdot \frac{t}{2}, \quad (1)$$

jossa d tarkoittaa etäisyyttä kohteen ja anturin välillä, c tarkoittaa valonnopeutta ja t kulunutta aikaa, joka säteellä kuluu, kun se syötetään kohteeseen ja palaa takaisin anturille.

Normaalisti LiDAR käyttää lähi-infrapunalaseraa, jonka aallonpituus on 900–1064 nanometriä ja veden läpäisyyn vihreää valoa, jonka aallonpituus on 532 nanometriä. Nykyään LiDARia käytetään lähes kaikkialla. (LIDAR Data 50 Applications and Uses. 2015.)

LiDAR käytetään nykyään hyvin monella eri tutkimusalueella. Sitä käytetään mm. teleskoopeissa, ilmastonmuutoksen seurannassa, lääketieteessä, liikennejärjestelmissä, geotieteissä, sotilaallisessa tarkoituksessa, arkeologiassa ja kaivostoinnassa. Sillä voidaan mitata sekä havaita esimerkiksi planeetan rajakerroksia, hiukkasia, vesihöyryn jakautumista, tuulen nopeutta ja sen suuntaa sekä havaita metalliatomeja ja -ioneja. (Vladutescu, V. 2018, 3.)

3 RIISTAKAMERAN TOIMINTA

Tässä luvussa kerrotaan perinteisen riistakameran tekniikasta ja miten se käytännössä toimii ja mihin erilaisiin tarkoituksiin sitä voidaan käyttää.

3.1 Riistakameroissa käytettävä tekniikka

Perinteinen riistakamera on käytännössä rakennettu digitaalikamerasta, joka on laitettu säänkestävään suojakoteloon, siinä on salama sekä liiketunnistin, paristo tai akku mahdollistamaan langattomuus, sekä riistakameraa ohjaava elektronikka ja ohjelmisto. (Riistakamerat.com. n.d.)

Riistakameroissa käytetään PIR-sensoria, joka tarkoittaa passiivi-infrapuna sensoria. Se toimii liiketunnistimena, joka mittaa infrapunasäteilyä. Kun sensori havaitsee infrapunasäteilyn tasoissa riittävän nopeita muutoksia, tulkitaan se tarkailualueella tapahtuvaksi liikkeeksi. (Riistakamerat.com. n.d.)

PIR-sensorin ansiosta liiketunnistin toimii yhtä lailla yöllä, kuin päivälläkin. Tämä mahdollistaa pimeäkuvauksen riistakameralla. Infrapunaledeillä saadaan tehtyä kameran perinteistä salamaa vastaavalla tavalla valotus kuvaan hämärässä ja pimeässä. (Riistakamerat.com. n.d.)

Riistakameroissa on yleensä muistikortti, johon kuvat tai video tallentuu, mutta vaihtoehtoisesti on olemassa myös lähettäviä riistakameroita. Ne tarvitsevat kuitenkin langattoman verkkoyhteyden, joka tarkoittaa sitä, että riistakameraan asennetaan SIM-kortti, jossa on toimiva matkapuhelinliittymä. (Riistakamerat.com. n.d.)

3.2 Riistakameran mahdolliset käyttötarkoitukset

Yleensä riistakameroita käytetään eläimien kuvaamiseen ja tarkkailuun, vaikkapa syöttöpaikoilla, mutta kun tekniikka näissä kameroissa ja niiden monipuolisuudessa on niin kehittynyttä, että niitä voidaan ihan hyvin nykyään käyttää valvontakameroina.

Riistakameroissa on monia ominaisuuksia, jotka ovat yksinkertaisesti parempia kuin perinteisissä valvontakameroissa. Niiden ottamissa kuvissa on korkeampi resoluutio, kuin valvontakameravideoista otetuissa kuvankaappauksissa. Riistakamerat eivät myöskään vaadi sähköverkkoa toimiakseen, joten niiden asennus on huomattavasti helpompaa ja paikat mihin ne voidaan asentaa ovat monipuolisia sääolosuhteiden kannalta, koska ne kestävät rankkoja olosuhteita. (Mikä riistakamera on? n.d.)

Riistakameroiden hinnat ovat yleensä joitakin satoja euroja, kun taas esimerkiksi kolmen kameran valvontakamera systeemi, josta lähtee kuvaa poliisin valvomoon ja jotka kääntyvät 360 astetta voi maksaa jopa 10 000 euroa. (Riistakamerat alkavat kuvata töhrijoita 2011.)

4 LAITTEISTO JA VÄLINEET

Tässä luvussa kerrotaan työssä käytetyistä laitteista ja komponenteista, kuten niiden tekniset tiedot ja miksi juuri ne on otettu käyttöön tässä työssä.

4.1 ESP8266 NodeMCU Wemos D1 Mini -kehitysalusta

ESP8266 Wemos D1 Mini on NodeMCU – avoimeen lähdekoodiin perustuva kehitysalusta. Sen ytimenä toimii Espressifin ESP8266 Wifi-moduuli. ESP8266 Wemos D1 Minin tekniset tiedot näkyvät taulukossa (taulukko 1).

TAULUKKO 1. ESP8266 Wemos D1 Mini tekniset tiedot

Kehitysalusta	ESP8266 Wemos D1 Mini
Mikrokontrolleri	ESP8266
Prosessori	Tensilica L106, 32-bittinen
Käyttöjännite	3,3 V
Digitaaliset I/O-pinnit	11
Tuetut väylät	SPI/I2C/I2S/UART
AD-muuntimen resoluutio (ADC)	10 bittiä (0...1023)
Muisti	4 MB
Kellotaajuus	80/160 MHz
Wi-Fi protokollat	802.11 b/g/n
3,3 V regulaattori	ME6211

ESP8266 Wemos D1 Minin käyttöjännite on 3,3 V, mutta siihen voidaan kytkeä 5 V jännite siitä huolimatta, koska siinä on regulaattori, joka muuntaa jännitteen piirille sopivaksi 3,3 V. Tässä kehitysalustassa on kuitenkin mahdollista syöttää johonkin toiseen laitteeseen 5 V käyttöjännite, jos itse mikrokontrolleriin syötetään 5 V, koska 5 V pinni on ohitettu regulaattorilta sitä varten. Kaikki tämän kehitysalustan I/O-pinnit ovat kuitenkin 3,3 V.

4.2 TeraRanger Evo 60m -etäisyysanturi

Teraranger Evo 60m on Terabeen kehittämä valmis anturi, jonka voi kytkeä USB-väylän kautta, tai sitten käyttämällä joko I2C- tai UART-väylää. Anturi on yhteensopiva Arduinin ja monien muiden kehitysalustojen kanssa. Anturi valittiin tähän työhön, koska se löytyi koululta jo valmiina ja siinä oli monipuoliset yhteensopivuudet. Teraranger Evo 60m -anturin tekniset tiedot löytyvät alla olevasta taulukosta (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Teraranger Evo 60m tekniset tiedot

Toimintaperiaate	Infrapunan lentoaika (LiDAR)
Etäisyys	0,5–60 m sisällä 0,5- (10–60 m) ulkona
Mittausnopeus	240 arvoa sekunnissa
Käyttöjännite	5 V DC +/-5 %
Virrankulutus	90 mA – 330 mA
Kommunikaatio	I2C/UART
Turvallisuus	Silmälle turvallinen (CE sertifioitu)
Liittimet	9-pinninen Hirose DF13 Micro USB
Tarkkuus	± 4 cm, kun < 14 m 1,5 %, kun > 14 m
Säteen ulostulon tarkkuus	0,5 cm, kun < 14 m 2 cm, kun > 14 m
Näkökenttä (anturin kiila)	Arviolta 2°

Teraranger Evo 60m -anturin toimintaperiaate perustuu lasersäteen lentoajan ja sen palaamiseen kohteesta takaisin anturiin kuluneen ajan muuttamiseksi etäisyydeksi millimetreissä. Tätä toimintaperiaatetta kutsutaan LiDAR-tekniikaksi. Sillä kyetään mittaamaan etäisyyttä jopa 60 metriin asti, mutta sillä ei pystytä mittaamaan alle 0,5 metrin etäisyydeltä. Se ei kuitenkaan haitannut tässä työssä, koska mittaukset suoritetaan huomattavasti kauempaa. Valokiilan koko kasvaa lineaarisesti etäisyyden kasvaessa. Jos infrapunamodostaman säteen kiila on 1 metrin etäisyydellä noin 3 cm x 3 cm, on se vastaavasti 10 metrin etäisyydellä 30 cm x 30 cm. Tämä anturi oli tarpeellinen valinta tässä työssä, koska normaalit

lämmöstä tunnistavat infrapunasensorit, joita käytetään perinteisissä riistakame-
roissa, eivät välttämättä havaitse esimerkiksi hylkeitä, koska niillä on paksu
nahka. Teraranger mittaa vain etäisyyttä kohteesta välittämättä muusta.

4.3 Arduino Mega 2560 -kehitysalusta

Arduino Mega on avoimen lähdekoodin kehitysalusta, jonka mikrokontrollerina
toimii 8-bittinen AVR-prosessori ATmega2560. Sitä on helppo ohjelmoida ja se
soveltuu hyvin monenlaisiin elektroniikan projekteihin. Arduino Megaan pystyy
liittämään muita Arduino-komponentteja, kuten Ethernet-, Wi-Fi-, ja GSM-moduu-
leja. Arduino Mega 2560 -kehitysalustan tekniset tiedot ovat taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Arduino Mega 2560 -kehitysalustan tekniset tiedot

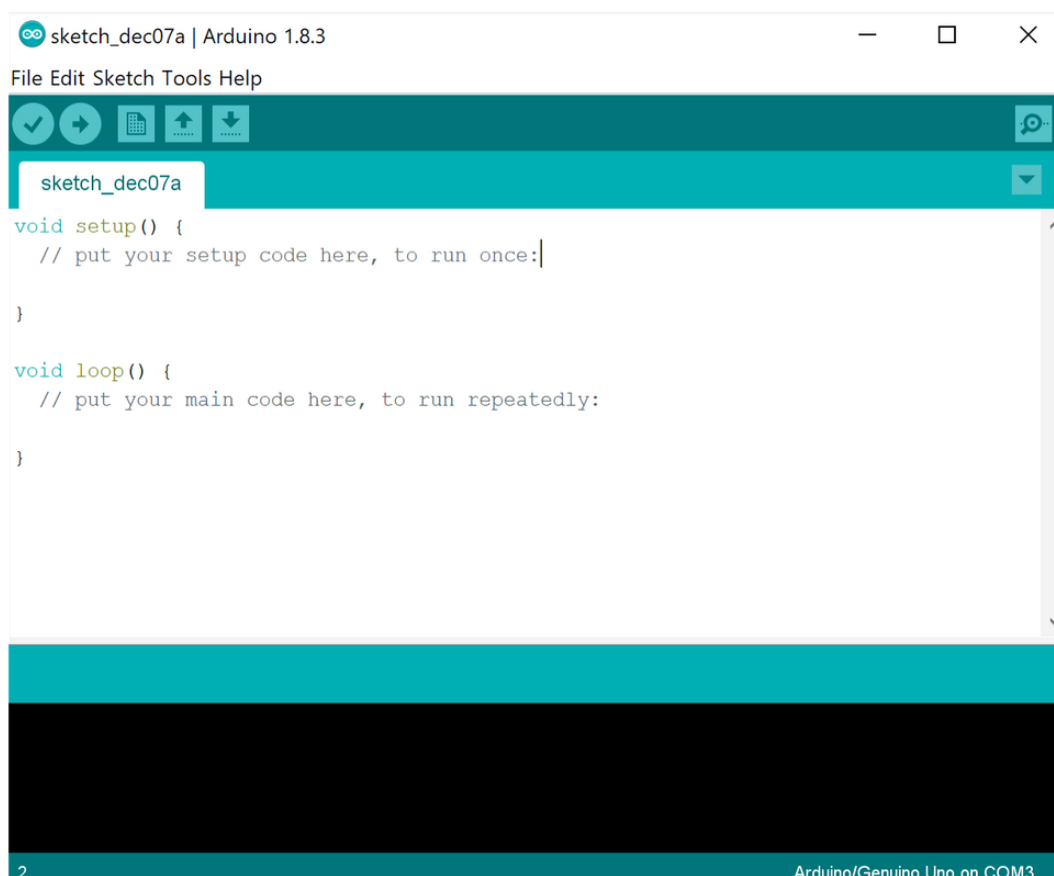
Kehitysalusta	Arduino Mega 2560
Mikrokontrolleri	ATmega2560, 8-bittinen AVR
Prosessori	ATmega2560
Käyttöjännite	5 V
Digitaaliset I/O-pinnit	54, joista 15 PWM
Analogiset sisääntulopinnit	16
Tuetut väylät	SPI/I2C/UART
AD-muuntimen resoluutio (ADC)	10 bittiä (0...1023)
Muisti	256KB Flash, 8KB SRAM
Kellotaajuus	16 MHz

Arduino Mega on hyvin yhteensopiva Arduino IDE:n kanssa, eikä siihen tarvitse
tehdä mitään erikoista alustamiseen tai ladata mitään lisäkirjastoja saadakseen
sitä toimimaan.

4.4 Arduino IDE -kehitysympäristö

Tässä opinnäytetyössä käytettiin Arduino IDE kehitysympäristöä. Arduino IDE on avoimeen lähdekoodin perustuva ohjelmisto, joka tukee C- ja C++ -ohjelmointikieliä. Se on saatavilla kaikille käyttöjärjestelmille, kuten Linux, Windows ja macOS. (What is Arduino IDE and its different functions. n.d).

Tämä kehitysympäristö valittiin, koska se tukee hyvin monia eri mikrokontrolleita ja kehitysalustoja, kuten ESP8266 ja Arduino Mega, jota käytettiin tässä työssä.



KUVA 1. Arduino IDE:n perusnäkö (Microsoft Support, n.d.)

Kuvassa 1 nähdään, millainen perusnäkö Arduino IDE:ssä on ja mitä eri alasettovalikoita työkalurivillä ylhäällä näkyy. Niistä pystyy muokkaamaan monia asetuksia, kuten valita mitä kehitysalustaa käyttää sekä mitä COM-porttia pitkin alustaa käytetään.

Arduino IDE:n avulla voidaan lukea sen omaa sarjamonitoria, ladata valmiita kirjastoja alustaan. Arduino IDE:ssä on myös tekstieditori, jolla koodia voidaan luoda sekä debuggeri, jolla koodi voidaan testata ja tarkistaa virheiltä. Koodi voidaan ajaa COM-väylää käyttäen suoraan kehitysalustalle.

4.5 SIM900 GSM-moduuli

Työssä käytetty GSM-moduuli on Tinyn valmistama Arduinolle tarkoitettu GSM-moduuli, jonka kehitys perustuu SIMComin SIM900 SIM-moduuliin. SIM900 on se varsinainen SIM-kortin lukemispääte ja siihen ympärille on rakennettu GSM/GPRS-moduuli, jonka voi asettaa esimerkiksi Arduino Megan päälle. Työssä käytetyn GSM-moduulin tekniset tiedot löytyvät taulukosta 4.

TAULUKKO 4. SIM900 GSM-moduulin tekniset tiedot

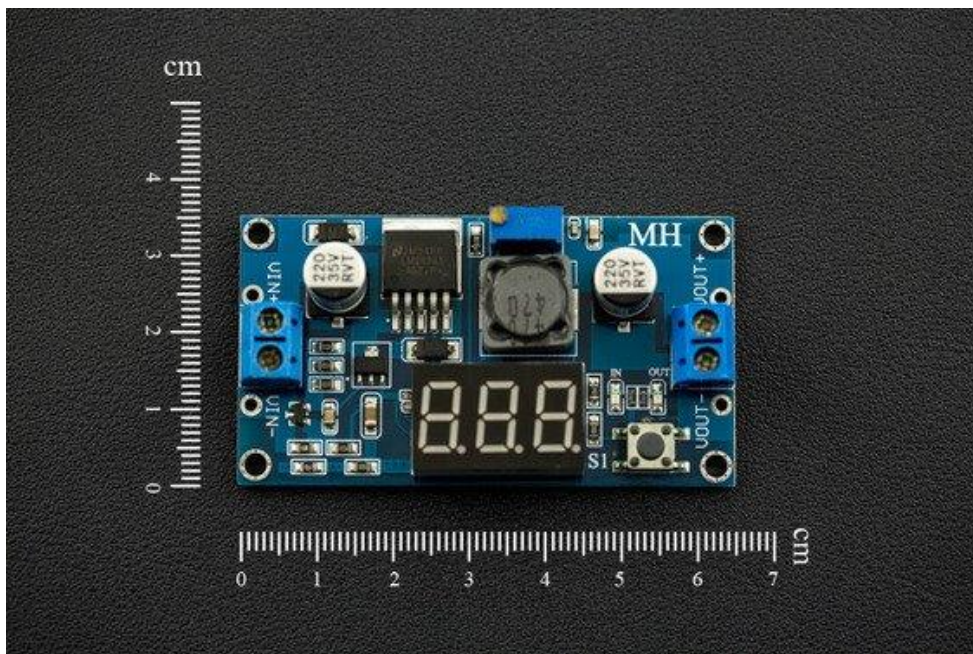
Kaistatyyppi	Quad-Band 850/900/1800/900 MHz
Hallintatapa	AT-komennot (UART)
Virrankulutus	Hetkellinen 2 A, lepotila 1,5 mA
Paketin siirto	Sisäänrakennettu UDP/TCP-pino
Pinnit	12 IO-pinniä, 2 PWM ja 1 ADC

GSM-moduulia voidaan ohjata UART:in välityksellä. Sillä voi lähettää tekstiviestejä, soittaa, sekä vastaanottaa tekstiviestejä. Tässä työssä moduulia tarvittiin ainoastaan tekstiviestien lähettämiseen. Sillä voi myös muodostaa GPRS-yhteyden, joka on tiedonsiirtopalvelu, jonka avulla on mahdollista siirtää datapaketteja nopeudella 30–40 Kb/s. (TinySine n.d.) Nykypäivän mittareilla tämän laitteen tiedonsiirtokyky on todella hidas.

4.6 DFR0379 hakkuriregulaattori

DFR0379 on DFRobotin valmistama buck-tyyppinen DC-DC regulaattori eli toisin sanoen hakkuriregulaattori, jossa on säädettävä ulostulojännite noin 1,25–37 V ja sisääntuloon pystytään syöttämään noin 4,0–40 V. Sisääntulon täytyy olla kuitenkin vähintään 1,5 V suurempi, kuin haluttu ulostulo. Tämä laite perustuu

LM2596 regulaattoriin, jossa maksimi virransietokyky on 3 A ja valmistajan suosituksen mukaan virrankulutuksen ollessa yli 2 A, tulisi käyttää jäähdytysiiliä. Tämän hakkurinregulaattorin keskimääräiseksi hyötysuhteeksi on ilmoitettu 88 %. (20 W Adjustable DC-DC Buck converter. n.d).



KUVA 2. DFR0379 hakkuriregulaattori (DFRobot, n.d.)

Kuvassa 2 näkyy hakkuriregulaattori, jota käytettiin tässä työssä. Tämä regulaattori oli sopiva valinta tässä työssä, koska siihen pystyttiin syöttämään sisääntuloon noin 4,0–40 V, ja auton akun jännite sijoittuu hyvin tuolle välille ollessaan noin 12,5 V. Myös ulostulo saatiin säädettyä haluttuun 5 volttiin.

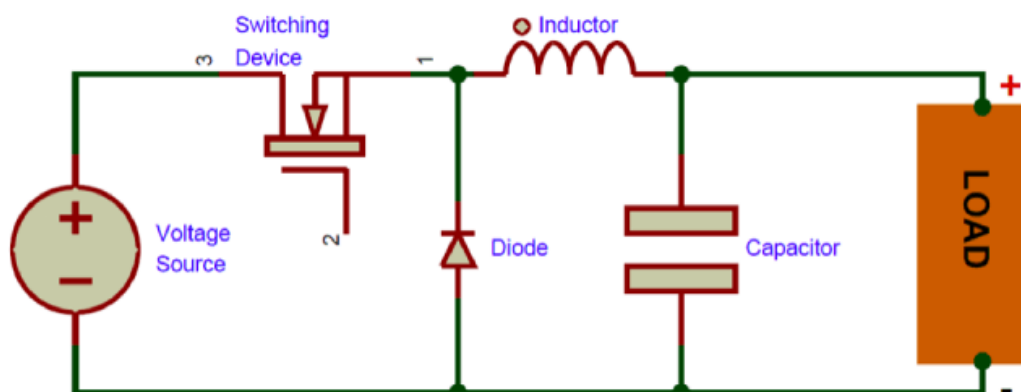
On tärkeää, että regulaattorin maksimi virransietokyky on jopa 3 A, koska tämän työn kytkennässä virrankulutus saattaa käydä yli 2 A. Korkea hyötysuhde auttaa myös siinä, että virtaa ei mene hukkaan, kuten esimerkiksi lineaarisessa regulaattorissa tapahtuu, jossa hyötysuhde on yleensä matala. DFR0379 regulaattorin tekniset tiedot löytyvät taulukosta 5.

TAULUKKO 5. DFR0379 hakkuriregulaattorin tekniset tiedot

Sisääntulojännite	4,0 ~ 40 V
Ulostulojännite	1,25 ~ 37 V
Teho	20 W
Ulostulovirta (maksimi)	3 A
Hyötysuhde (keskimäärin)	88 %

4.7 Hakkuriregulaattorin toimintaperiaate

Hakkuriregulaattorin tarkoitus on luoda ulostuloon matalampi tasajännite, kuin mitä siihen syötetään. Kuviossa 2 nähdään yleinen hakkuripiiri, jossa jokaisella komponentilla on oma tehtävänsä jännitteen muuntamisessa.



KUVIO 2. Hakkuriregulaattorin piirikaaviomalli (Components101, 2019.)

Kuvion 2 piiri ei ole suoraan työssä käytetyn hakkuriregulaattorin piirikaavio, mutta sen avulla voidaan havainnollistaa, miten yleisesti ottaen hakkuriregulaattori toimii.

Kuviossa 2 nähtävää MOSFET:ia (Switching Device) säädellään pulssisuhteella, jossa sen tila vaihtelee johtavan ja ei-johtavan tilan välillä. Kun se johtaa, kondensaattori (capacitor) varautuu ja koska se ei varaudu heti kelan (inductor) rajoittaessa virran latausta, ei saada niin suurta jännitettä aikaiseksi, kuin jännitelähteessä (voltage source). Kun taas MOSFET menee johtamattomaan tilaan,

purkautuu kela ja luo diodin läpi kulkevan piirin, joka varaa kondensaattoria ja näin ollen pitää virransyötön kuormalle päällä. Tämä tilojen vaihtelu tapahtuu tuhansia kertoja sekunnissa, ja pulssisuhteella voidaan täten määrittää lähtöjännitteestä muunnettava laskettu ulostulojännite. (Buck Converter: Basics, Working, Design and Operation. 26.4.2019.)

5 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA TESTAUS

Tässä luvussa kerrotaan, kuinka järjestelmää lähdettiin suunnittelemaan vaiheittain, ja mitä komponenteilla tehtiin sekä mihin ne kytkettiin. Lopuksi vielä kerrotaan järjestelmän testauksesta ja tuloksista sekä tehdyistä muutoksista suunnittelun aikana.

5.1 Ensimmäinen testausvaihe

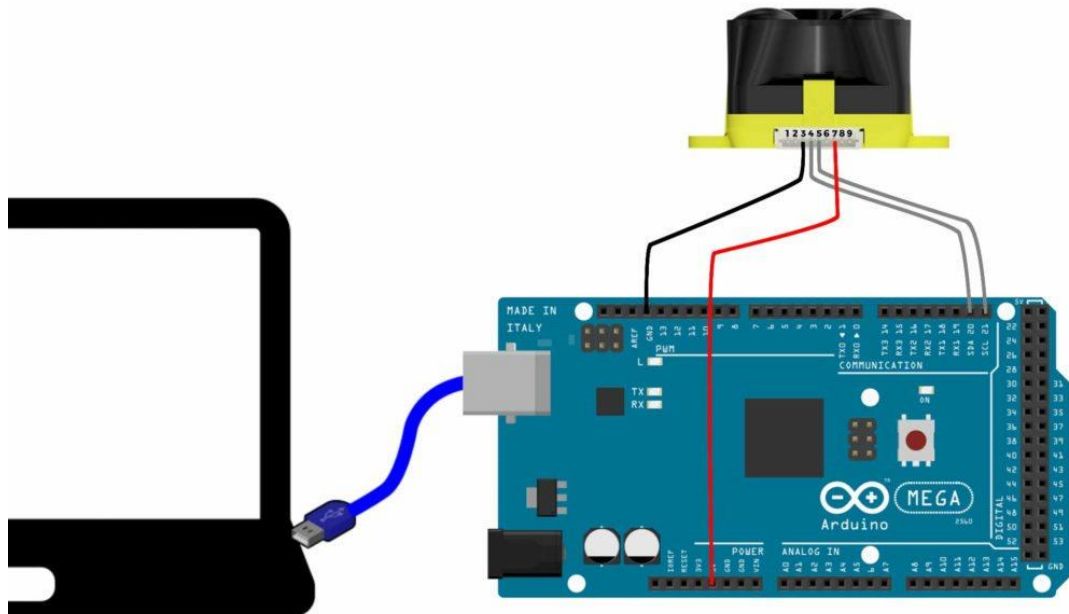
Alkuvaiheessa työssä pyrittiin testaamaan LiDAR-anturin kunto ja miten se toimii, sekä kuinka herkkä se on sivulta tullessa, eli kuinka kapea sen laserkiila on pitemmällä etäisyydellä. Tähän versioon kiinnitettiin ESP8266 I2C-väylän kautta LiDAR-anturi ja sitten normaali ledi, joka asetettiin vilkkumaan aina kun anturissa havaittiin liikettä. Ledi toimi kameran korvikkeena, kun kamera ei ollut saatavilla testejä varten.

5.1.1 ESP8266 alustaminen ja käyttöönotto

ESP8266 alustaminen tapahtui ensimmäisenä ja se tehtiin Arduino IDE:llä, kuten kaikki koodaaminen tässä työssä. Siihen ladattiin peruskirjastot ja valittiin oikea kehitysalusta kehitysympäristöstä. Sen jälkeen koodi ladattiin mikrokontrolleriin sisälle ja alustus oli valmis.

5.1.2 TeraRanger Evon kytkentä

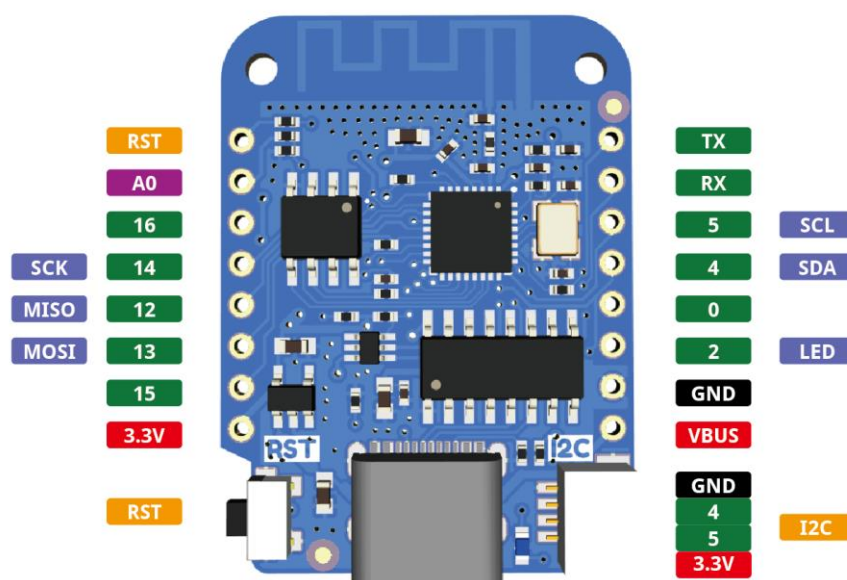
LiDAR-anturi kytkettiin Terabeen sivujen ohjeiden mukaisesti, jossa anturi oli kytketty Arduino Megaan. ESP8266 omaa lähestulkoon samat rakenteet ja väylät, joten ohjeen avulla pystyi helposti kytkemään johdot oikeisiin I/O-pinneihin (kuvio 3).



KUVIO 3. TeraRanger Evon kytkentämalli Arduino Megaan (Terabee, n.d.)

Kuviossa 3 huomataan, että neljä eri johtoa yhdistetään LiDAR-anturin ja mikrokontrollerin välille käyttämällä I2C-väylää. Kuvassa punainen johto on yhdistetty mikrokontrollerissa 5V-pinniin, josta anturi saa käyttöjännitteen ja musta johto on yhdistetty GND-pinniin, josta se maadoitetaan. Tässä työssä ne kytkettiin ensin ESP8266 Wemos D1 Miniin ja sitten myöhemmin malliin Arduino Mega 2560.

Kaksi muuta johtoa, jotka kuvassa ovat harmaita ovat kytketty pinneihin SDA ja SCL, jotka muodostavat varsinaisen I2C-väylän. I2C:n toiminnasta kerrotaan lisää kappaleessa 5.1.3.



KUVIO 4. ESP8266 Wemos D1 Mini Pinout (Wemos, 2021)

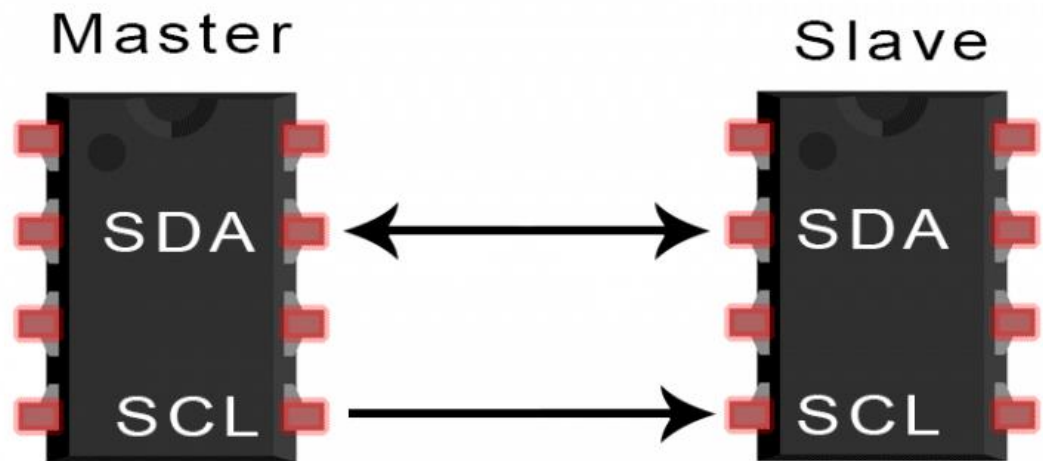
Kuvion 4 mukaisesti LiDAR-anturin johdot on kytketty pinneihin GND, VBUS sekä pinnit 5 ja 4 eli SCL- ja SDA-pinnit, joiden avulla muodostetaan I2C-väylä ja yhteys tietojen välittämiseksi. Kuvassa 4 VBUS on 5 V-pinni ja vaikka kuvassa näytetään I2C-väylän pinneiksi GND, 4, 5 ja 3,3 V, niin voidaan 3,3 V tilalla käyttää 5 V (VBUS), koska LiDAR-anturi tarvitsee 5 V käyttöjännitteeksi.

Itse mikrokontrolleri ESP8266 toimii 3,3 V käyttöjännitteellä, mutta se saa tässä vaiheessa käyttöjännitteensä tietokoneen USB-portista, joka on 5 V DC, joten siihen on tehty sisäänrakennettu regulaattori, joka muuntaa sen jännitteen 3,3 V. Tästä syystä muihin laitteisiin pystytään syöttämään 5 V.

TeraRanger Evo -anturi saatiin antamaan arvoja esimerkkikoodin avulla, joka löytyi heidän verkkosivuiltaan. Tässä esimerkkikoodissa on luotu valmiiksi anturilta saatu analoginen data muunnettuna millimetreiksi ja saatu se näkymään Arduino IDE:n sarjamonitorissa 50 ms välein. Tämän koodin pohjalta koodia alettiin muokata ja adaptoimaan omaan työhön sopivaksi.

5.1.3 I2C-väylän toimintaperiaate

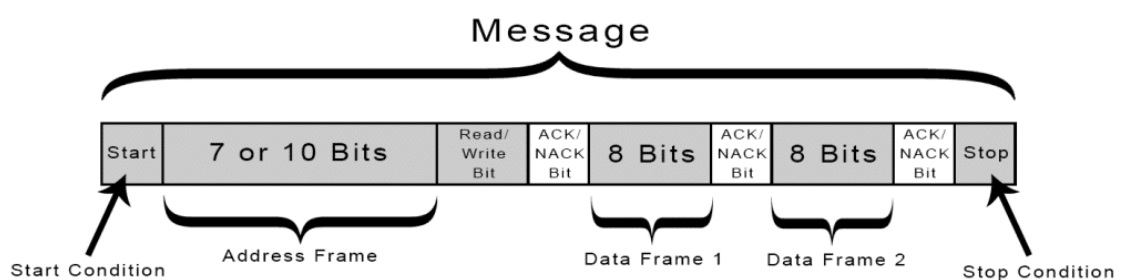
I2C:n toimintaperiaate on, että yksi tai useampi "Master"-laite voi ohjata yhtä tai useampaa "Slave"-laitetta. Kuviossa 5 on malli havainnollistettuna yhden isäntälaitteen ja yhden orjalaitteen välillä.



KUVIO 5. I2C-väylän yhdistäminen havainnollistettuna (Circuit Basics, n.d.)

Kuten kuviosta 5 nähdään, I2C-väylän käyttämiseen tarvitaan vain kaksi johtoa, joiden avulla "Master"-laite, eli tässä tapauksessa mikrokontrolleri yhdistetään "Slave"-laitteeseen, joka on tässä tapauksessa etäisyysanturi.

I2C:ssä tiedot jaetaan datakehyksiin kuvion 6 mukaisella tavalla. Viesti koostuu aina osoitekehyksestä, orjanlaitteen binääriosoitteesta sekä yhdestä tai useammasta datakehyksestä, jotka sisältävät varsinaisen datan. Viestin alussa on aloitusehdot ja lopussa lopetusehdot. (Basics of the I2C communication protocol. n.d.)



KUVIO 6. I2C:n viestin rakenne kuvattuna lohkoissa (Circuit Basics, n.d.)

Kuviossa 6 havainnollistetaan I2C:n viestin tietorakenne, jonka avulla laitteet välittävät dataa toisilleen.

5.1.4 Ledin kytkentä testausta varten

Testimielessä alustaan kytkettiin sininen ledi, ja sen kanssa sarjaan 270Ω kokoinen vastus, että se rajoittaisi virtaa ja ettei ledi kärähtäisi. Mikrokontrollerin datalehdessä katsoen jokin I/O-pinni asetettiin ulostuloksi, ja tässä tapauksessa tuli valittua pinni 13. Se olisi voinut olla lähes mikä tahansa muu pinni.

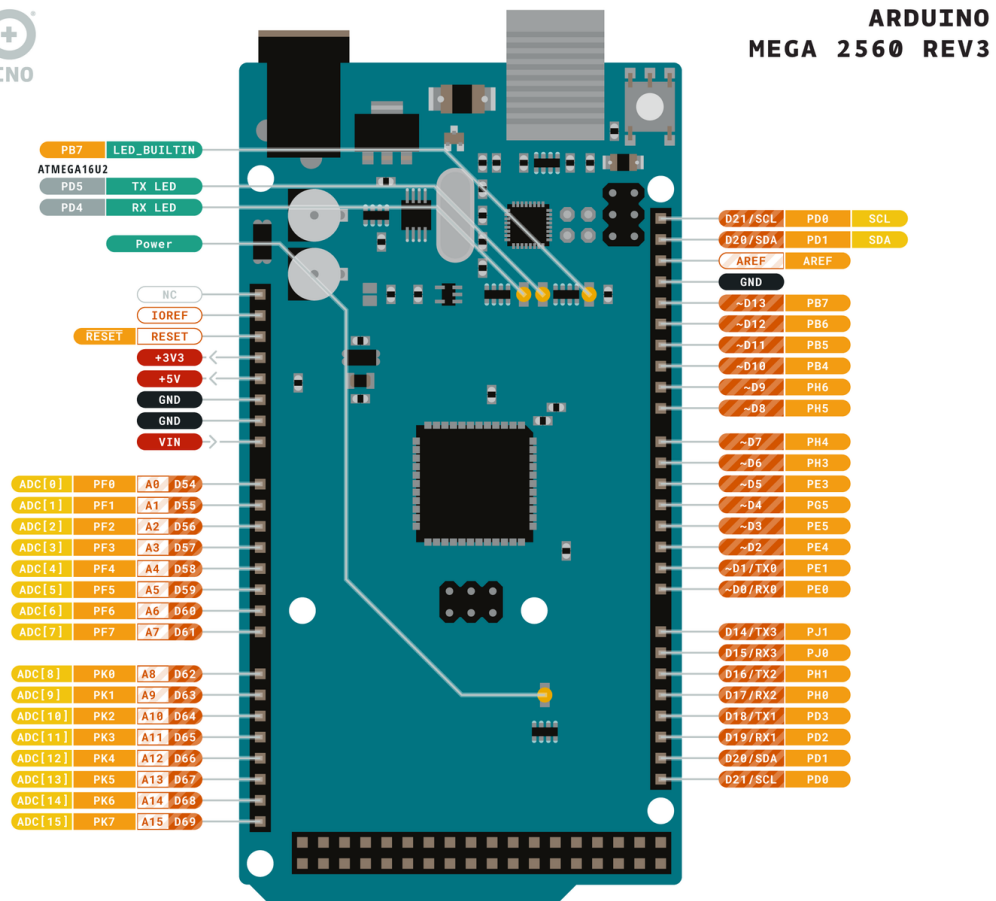
Koodissa digitaalinen ulostulo asetetaan päälle, aina kun LiDAR-anturin antama arvo poikkeaa edellisestä arvosta 200 mm. Eli jos esimerkiksi laitettiin anturin eteen käsi, kun se osoitti kattoa, ledi syttyi 0,5 sekunniksi ja sammui. Kun taas käsi otettiin pois, ledi syttyi ja sammui. Tämän tarkoituksen oli jäljitellä sitä, että anturin eteen olisi mennyt eläin.

5.2 Toinen testausvaihe

Kun työssä oli saatu etäisyysanturilla liikkumisen tunnistaminen kuntoon ja ledi vilkkumaan, siirryttiin työssä vaiheeseen, jossa GSM-moduulin avulla voidaan lähettää ilmoitusluontoisia tekstiviestejä puhelimeen aina kun LiDAR-anturi havaitsee etäisyyden muutoksia.

5.2.1 Kehitysalustan vaihto Arduino Megaan

Aluksi GSM-moduulia yritettiin kytkeä ESP8266 kanssa, mutta siinä ilmeni ongelmia, ja voidaan olettaa, että ne johtuivat eri käyttöjännitteistä. Työssä päädyttiin käyttämään Arduino Megaa, koska GSM-moduuli on paremmin yhteensopiva Arduinin kanssa. Se on myös alun perin suunniteltu Arduinoa varten ja siinä on sama käyttöjännite kuin Megassa. Myöskään ESP8266 tuomia hyötyjä, kuten Wi-Fi ominaisuudet tai huomattavasti parempi suorituskyky kuin Arduino Megassa, eivät olleet tarpeen tässä työssä.



KUVIO 7. Arduino Mega Pinout (Arduino, 2022)

Kuviossa 7 nähdään Arduino Megan Pinout, johon vaihdettiin suoraan kuvion 3 mukaisesti johdotukset Teraranger Evoa varten. I2C-väyläyhteys saatiin muodostettua SCL- ja SDA-pinnejä sekä 5 V ja GND-pinnejä käyttämällä. Sama koodi, joka oli ajettu ESP8266-alustaan, voitiin ajaa myös Megaan, koska toimintaperiaate niissä on sama.

5.2.2 GSM-moduulin testaaminen ja kytkentä

Seuraavaksi pyrittiin saamaan GSM-moduuli toimimaan tekstiviestien lähettämistä varten, jotta saataisiin lähettyä ilmoitus, kun etäisyysanturi havaitsee eläimen, sekä kun akun jännitetaso on laskenut tiettyyn pisteeseen.



KUVIO 8. Työssä käytetty SIM900 GSM-moduuli (GSM/GPRS Shield, 2014.)

Kuviossa 8 nähdään työssä käytetty GSM-moduuli. GSM-moduulin pystyy asettamaan suoraan Arduino Megan päälle niin, että 5 V jännitepinni sekä maadoituspinnit kohtaavat eikä niitä tarvitse vetää erikseen johdoilla, koska sen kaikki pinnit on suunniteltu kohtaamaan Arduino Megan pinnien kanssa.

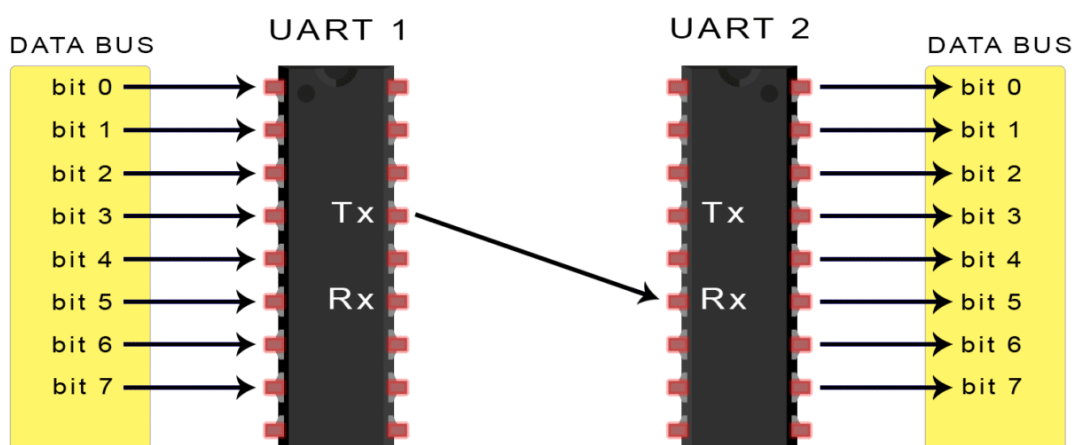
Kun GSM-moduuli on asetettu Megan päälle, vedetään Tx- ja Rx-pinnit moduulista Arduino Megasta määritettyihin SoftwareSerial -kirjaston mukaisiin Tx- ja Rx-pinneihin ristiin eli Rx-pinni yhdistetään Tx-pinniin. Tässä työssä kyseisiksi pinneiksi määritettiin Rx-pinniksi digitaalinen I/O-pinni numero 10 ja Tx-pinniksi numero 11.

SoftwareSerial ”jumppereita” ei voitu käyttää, koska ne olisi yhdistynyt automaattisesti GSM-moduulin pinneihin numero 2 ja 3, ja niitä pinnejä ei voi Arduino Me-gassa käyttää UART-liikehdintään. Käytännössä lopputulos on kuitenkin sama. UART:in toiminnasta kerrotaan kappaleessa 5.2.3.

Kun fyysiset kytkennät saatiin tehtyä, voitiin alustaan ladata testikoodi. Valmistajan sivulta löytyvän kirjastopakettin avulla, jossa asetettiin oman sarjaportin väylänopeudeksi 9600 bps. Esimerkkikoodissa laitteiston käynnistyessä se lähettää parametreihin syötettyyn puhelinnumeroon halutun viestin, joka on syötetty toiseen parametriin. Parametrit siis (puhelinnumero, haluttu viesti). Tämä saatiin onnistumaan, joten sitä pystyttiin lähteä soveltamaan työssä vaadittuihin tarkoituksiin.

5.2.3 UART-piirin toimintaperiaate

UART ei ole tiedonsiirtoprotokolla kuten vaikka I2C, vaan se on fyysinen piiri mikrokontrollerissa tai jossakin muussa laitteessa. UART:in päätarkoitus on vastaanottaa ja lähettää sarjatietoja.

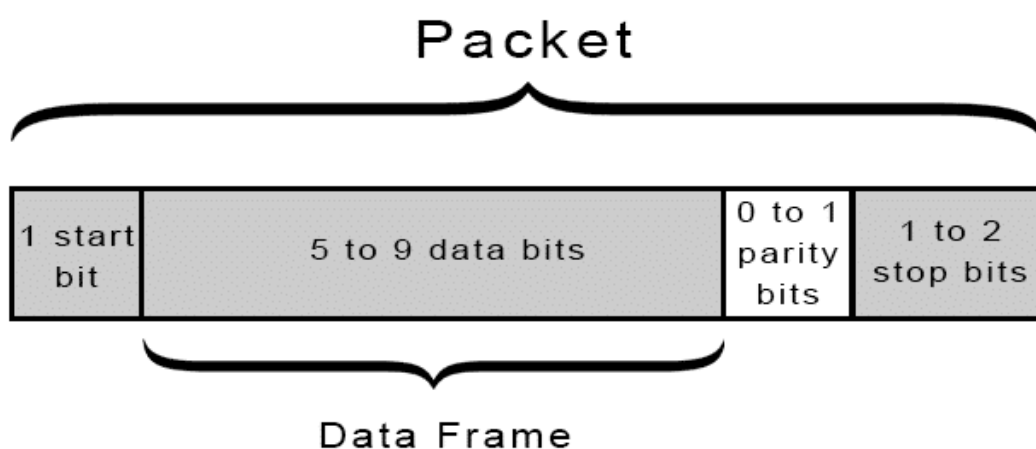


KUVIO 9. UART-piirien yhdistäminen havainnollistettuna (Circuit Basics, n.d.)

Kuten kuviossa 9 huomataan, UART-viestinnässä kaksi UART-piiriä, kuten tässä työssä GSM-moduuli ja mikrokontrolleri kommunikoivat suoraan keskenään. Lä-

hettävän laitteen UART muuntaa ohjauslaitteen, kuten vaikkapa suorittimen tulevan datan sarjamuodossa ja lähettää sen sarjamuodossa vastaanottavalle UART-piirille, joka taas muuntaa sarjatiedot takaisin vastaanottavaa laitetta varten luettavaksi. (Basics of UART communication. n.d.)

Lähetettävä tieto kulkee Tx-pinnin kautta vastaanottavaan Rx-pinniin, ja kun takaisin päin tulee tietoa, saapuu se taas Tx-pinnistä Rx-pinniin kuviossa 10 näkyvällä tavalla.



KUVIO 10. UART:n pakettirakenne (Circuit Basics, n.d.)

Kuviossa 10 nähdään paketti rakenne, ja mitä bitit sisältävät. Kun vastaanottava UART havaitsee aloitusbitin, se alkaa lukea tietoa tietyllä taajuudella, jota kutsutaan siirtonopeudeksi (baud rate), ja sen yksikkö on bittiä per sekunti (bps). Molempien UART:ien täytyy operoida lähestulkoon samalla nopeudella, jotta tieto välittyisi. (Basics of UART communication. n.d.)

5.3 Kolmas testausvaihe

5.3.1 Piirin kytkentä teholähteeseen hakkuriregulaattorin avulla

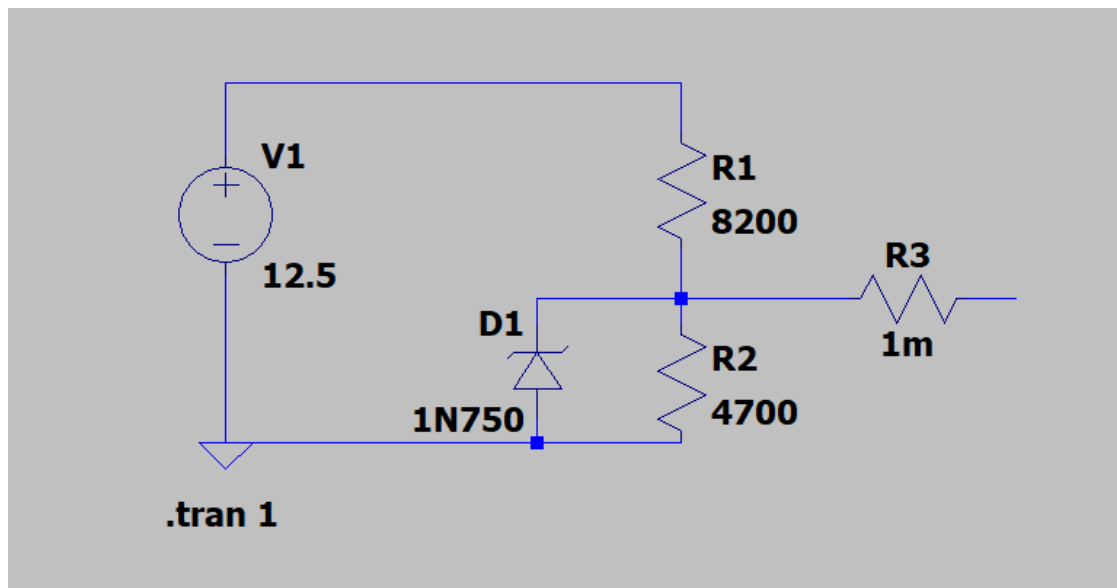
Testausvaiheessa akun toimintaa koitettiin jäljitellä teholähteellä. Teholähteestä syötettiin työssä käytettyyn hakkuriregulaattoriin 12,5 V jännitettä virtarajana 3 A.

Hakkuriregulaattori säädettiin trimmeristä niin, että ulostulo oli 5 V. Ulostulo pysyi viidessä voltissa, vaikka sisääntuloa muunsi korkeammalle ja matalammalle.

Hakkurin ulostulosta johdot kytkettiin Arduino Megan GND- sekä Vin-pinniin. Tämän jälkeen testattiin tekstiviestien lähettäminen sekä etäisyysanturin toiminta. Tämän jälkeen voitiin todeta, että kaikki toimii normaalisti niin kuin pitääkin.

5.3.2 Akun jännitteen mittaaminen ja syöttö Arduinolle

Tavoitteena työssä oli myös saada tarkkailtua akun varaustasoa sekä ilmoittaa siitä, kun se laskee tietyn rajan alle. Varaustasoa ei voitu mitata suoraan regulaattorin ulostulosta, koska se näyttää aina 5 V, vaikka akusta tulisikin 12,5 V sijaan 11,5 V jännitettä. Koska Arduino Megan analogipinniin ei voi syöttää yli 5 V, tehtiin jännitteenjako, jolla se voitiin toteuttaa.



KUVIO 11. Jännitteenjakokytkentä akun varaustason tarkkailua varten

Kuviossa 11 nähdään, kun mitataan akun navoista suoraan jännitteenjaon avulla, jossa ulostuloon tulee noin 3,7 V. Ulostuloon on asetettu myös 1 M Ω vastus R3 suojaamaan piiriä liian suurelta virralta, koska virta saa olla äärimmäisen pieni tässä kohtaa, kun ainoastaan jännitetasoa tarkkaillaan. Pienemmän vastuksen rinnalle on myös asetettu 5,1 V zenerdiodi suojaamaan piiriä. Jos esimerkiksi juotoskohta katkeaisi vastuksesta R2, niin piiriin virtaisi suoraan 12,5 V jännite,

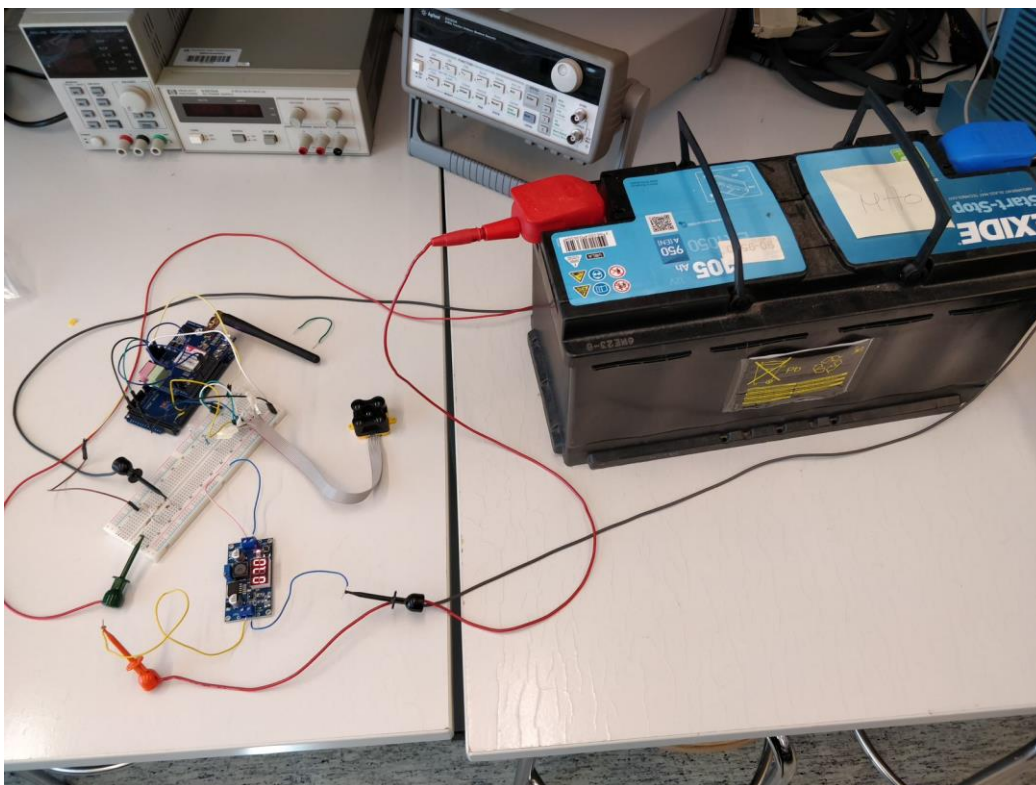
joka todennäköisesti tuhoaisi jotain osia piiristä. Akun jännitteen pudotessa esimerkiksi 11,5 V, tulee tästä kytkennästä ulostuloksi noin 3,5 V, koska zenerdiodin kynnysjännite on noin 0,5 V, joten analogipinniin syötettävä jännite tippuu tästä syystä entisestään. Jännitearvon muuntaminen digitaaliseen arvoon tehtiin AnalogRead() -funktion avulla pinnistä A14.

Arduino Megan ADC-resoluutio on 10 bittiä, joten 5 voltia saa digitaaliseksi arvoksi 1023. Tässä tarkkaillaan, milloin jännite laskee alle 11,5 V eli milloin jännite laskee alle 3,5 V ja milloin jännitteen digitaaliseksi muutettu arvo laskee alle 730.

Kun tarkkailtu arvo laskee alle 730, lähtee puhelimeen tekstiviesti, jossa ilmoitetaan, että akun varaustaso on matala ja järjestelmälle ei kohta riitä enää virtaa.

5.4 Valmiiksi todetun järjestelmän testaus

Lopuksi testattiin kokonaisuutena järjestelmän toiminnallisuutta, kun kaikki koodit oli yhdistetty toimimaan kokonaisuutena. Hakkuriin kytkettiin tässä vaiheessa myös 105 Ah AGM-akku, jolla voitiin testata, että kyseinen kytkentä on käytännössä mahdollinen. Kaikki toimi kuten pitikin, ja järjestelmä olisi täten valmis vieäväksi ulos oikeaan käyttöön, jos vain kaikki fyysiset suojaustoimenpiteet olisivat kunnossa.



KUVA 3. Järjestelmä kokonaisuudessa kytkettynä akun napoihin

Kuvassa 3 nähdään oikealla auton AGM-akku, jonka kokonaiskapasiteetti on 105 Ah. Tässä testissä olisi voitu käyttää muitakin pienempiä 12 V akkuja, mutta koululta löydettiin vain tämä, joten testaus suoritettiin sillä. Kuvassa vasemmalla näkyy hakkuriregulaattori kytkettynä kytkentälautaan, jossa on jännitteenjakokytkentä, sekä virtajohdot yhdistettynä LiDAR-anturille ja Arduino Megalle.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteet toteutuivat onnistuneesti. Työhön syntyi myös uusien ominaisuuksien osalta jatkokehitysideoita sekä nykyisiä ominaisuuksia kehittäviä ajatuksia.

Päällimmäisinä tavoitteina oli luoda riistakameran kaltainen systeemi, jonka pää-tarkoitus on ottaa laadukkaita luontokuvia. LiDAR-anturilla mitattuna etäisyyden muututtua lähtee haluttuun puhelinnumeroon tekstiviesti, jossa kerrotaan, että eläin on havaittu ja siitä on otettu kuvia. Laitteisto lähettää myös tekstiviestin, kun akun jännite on laskenut tietyn rajan alle, joka indikoi siitä, että varaustaso on matala.

Systeemi täytyy pystyä viemään keskelle metsää minä tahansa vuodenaikana, joten siihen jouduttiin suuren virrankulutuksen vuoksi asentamaan 12 V akku, josta virta syötetään hakkurin lävitse, joka pudottaa käyttöjännitteen 5 V järjestelmälle sopivaksi. Hyvä puoli korkeassa virrankulutuksessa on, että se pitää järjestelmän lämpimänä talvipakkasella.

Työssä tuli opittua eri väylätekniikoista paljon, kuten miten I2C- sekä UART toimivat. Suurimmaksi haasteeksi työssä koitui saada GSM-moduuli toimimaan yhtäaikaisesti LiDAR-anturin kanssa. GSM-moduulista löytyi tietoa erittäin huonosti, koska on olemassa niin monen eri valmistajan tekemiä, jotka on toki tarkoitettu Arduinolle, mutta ovat kuitenkin kokoonpanoltaan jonkin verran erilaisia. Valmistajan tarjoamien kirjastojen käyttö oli jokseenkin helppoa, mutta niiden muokkaaminen eri mikrokontrolleria varten oli todella haastavaa, kun ohjeita siihen ei löytynyt. Työssä jouduttiin muokkaamaan eri muuttujia kirjastoista, kunnes saatiin systeemi toimivaan halutulla tavalla.

Laitteiston toimintaa ei saatu koeponnistettua oikeissa olosuhteissa luonnossa, koska sääolosuhteiden vuoksi olisi pitänyt suojata systeemi sekä akku todella hyvin, eikä työhön kuuluvaa järjestelmäkameraa saatu käyttöön vielä. Tämänhetkinen versio systeemistä on testattu vain sisätiloissa toimivaksi.

Jatkokehitystä varten työhön jäi ideoita, kuten voiko järjestelmää käyttää pienemmällä akulla, mikä vaatisi virrankulutuksen laskemista eli jouduttaisiin vaihtamaan LiDAR-anturi johonkin toiseen anturiin sekä GSM-moduuli mahdollisesti uudempaan malliin.

Jos GSM-moduulin vaihtaisi uudempaan, olisi myös mahdollista lähettää palvelimelle thumbnail-kuvia otetuista valokuvista. Se ei ole tietysti varmaa, ennen kuin pääsisi käsiksi kameraan ja tutkisi, pääseekö sieltä lataamaan kuvat mikrokontrollerille ja lähettämään palvelimelle sitä kautta.

Järjestelmää voisi myös hyödyntää liiketunnistimena esimerkiksi varashälyttimen kaltaiseen tarkoitukseen. Jos poistuisi pidemmäksi aikaa kotoa, ja haluaisi seurata, ettei mitään liikettä tapahdu sinä aikana omassa kodissa, kun siellä ei pitäisi olla ketään. Tässä tapauksessa kameraa ei tarvitsisi olla vaan pelkkä ilmoitus siitä, että liikettä on havaittu riittäisi.

LÄHTEET

Collis, R.T.H. 1970. Lidar, Applied Optics. 9, 1782–1788. Optica Publishing Group. Viitattu 24.1.2022. <https://www-osapublishing-org.lib-proxy.tuni.fi/ao/fulltext.cfm?uri=ao-9-8-1782&id=16487#articleFigures>

2015.LIDAR Data 50 Applications and Uses. Verkkosivu. Viitattu 24.1.2022. <https://grindgis.com/data/lidar-data-50-applications>

Vladutescu, V. 2018. LiDAR system and working principles. New York City College of Technology. PhD. Pdf-dokumentti. Viitattu 24.1.2022. <http://site.ieee.org/romania-ims/files/2018/03/Lidar-module-prepared-for-UPB-Spring-2018.pdf>

Riistakamerat.com. n.d. Mikä riistakamera on? Viitattu 27.1.2022. <https://www.riistakamerat.com/page/5/mika-riistakamera-on>

Holopainen, S. 2011. Riistakamerat alkavat kuvata töhrijoita. Aamulehti. Viitattu 27.01.2022. <http://web.archive.org/web/20110408102716/http://www.aamulehti.fi/moro/uutislista/riistakamerat-alkavat-kuvata-tohrijoita-katso-video/210916>

Sensorpartners. n.d. How does a lidar work? Viitattu 3.2.2022. <https://www.sensorpartners.com/en/knowledge-base/how-a-lidar-laser-works/>

Botsolvers. n.d. What is Arduino IDE and its different functions. Viitattu 10.2.2022. <https://botsolvers.com/what-is-arduino-ide-and-its-different-functions/>

Taulukoodin ja Arduino IDE:n lataaminen. n.d. Microsoft Support. Viitattu 10.2.2022. <https://support.microsoft.com/fi-fi/topic/taulukoodin-ja-arduino-ide-n-lataaminen-a9723765-1314-49e0-a69b-bb5c3e1f628d>

Terabee. n.d. Connection for I2C/Arduino. Viitattu 17.2.2022. https://github.com/Terabee/sample_codes

Wemos. 2021. Lolin D1 Mini. Viitattu 17.2.2022. https://www.wemos.cc/en/latest/d1/d1_mini.html

DFRobot. n.d. 20 W Adjustable DC-DC Buck converter. Tekniset tiedot. Viitattu 3.3.2022. <https://www.dfrobot.com/product-1552.html>

Scott Campbell. n.d. Basics of the I2C communication protocol. Verkkosivu. Viitattu 9.3.2022. <https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/>

Scott Campbell. n.d. Basics of UART communication. Verkkosivu. Viitattu 9.3.2022. <https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>

Arduino. n.d. Arduino Mega 2560 Documentations. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2022.
<https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>

TinySine. n.d. GSM/GPRS Shield Datasheet. Pdf-dokumentti. Viitattu 17.3.2022.
<https://www.tinyosshop.com/datasheet/GSM%20Shield%20Datasheet.pdf>

TinySine Electronics. 2014. GSM/GPRS Shield Datasheet. Viitattu 18.3.2022.
<https://www.tinyosshop.com/datasheet/GSM%20Shield%20Datasheet.pdf>

Components101. 26.4.2019. Buck Converter: Basics, Working, Design and Operation. Viitattu 23.3.2022.
<https://components101.com/articles/buck-converter-basics-working-design-and-operation>