

Opinnäytetyö (AMK)

Tietotekniikka

Ohjelmistotuotanto

2011

Jouni Salmijärvi

KOHTI ÄLYKÄSTÄ LEDIÄ

– RGB-ledin käyttö anturina sulautetussa järjestelmässä



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

Turun ammattikorkeakoulu

Tietotekniikka | Ohjelmistotuotanto

Huhtikuu 2011 | 31 sivua + 4 liitesivua

Ohjaaja: Vesa Torvinen

Jouni Salmijärvi

KOHTI ÄLYKÄSTÄ LEDIÄ

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan ja testataan RGB-ledin käyttöä anturina älykkäässä ledivalaisimessa. Revision gamesille kehitettävässä tuotteessa RGB-lediä käytetään ympäristön valon voimakkuuden aistimiseen ja värien tuottamiseen.

Opinnäytetyön käytännön testeissä RGB-ledin kahdensuuntaisia ominaisuuksia tutkitaan tähän käyttöön suunniteltavalla ohjelmointialustalla. Työn teoreettisena lähtökohtana ovat ledit ja niiden käyttö antureina, erityisesti Mitsubishin elektroniikkaa tutkivan laboratorion vuonna 2003 tekemät tutkimukset, joissa tutkittiin ledien käyttöä anturina. Lisäksi työn teoreettisessa osiossa käsitellään RGB-väriteoriaa sekä mikro-ohjainten ja antureiden käyttöä sulautetussa ohjelmoinnissa.

Opinnäytetyön käytännön osiossa suunnitellaan ja toteutetaan sarja mittauksia ja testejä, joilla selvitetään RGB-ledin käyttäytymistä anturina sekä sen mahdollisuutta havaita värejä. Käytännön testeissä todennettiin, että myös RGB-ledi, jossa punaista, vihreää ja sinistä tuottavat ledit on pakattu yksiin kuoriin, tuottaa jännitettä valosta ja näin ollen sopii valon voimakkuuden havaitsemiseen. Suurimman jännitteen tuottaa RGB-ledin punainen värikomponentti, joka tästä syystä soveltuu parhaiten anturitarkoitukseen. Toiminta sulautetussa järjestelmässä todistettiin käyttämällä RGB-lediä yhdessä tätä projektia varten suunnitellun ohjelmointialustan kanssa. Järjestelmä saatiin reagoimaan halutulla tavalla eriasteisiin valon voimakkuuden vaihteluihin.

ASIASANAT:

ledit, optiset anturit, sulautetut järjestelmät, värioppi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information Technology | Software Engineering

May 2011 | 31 pages + 4 appendix pages

Instructor Vesa Torvinen

Jouni Salmijärvi

TOWARDS INTELLIGENT LED - Using RGB LED as Sensor in Embedded System

The goal of this thesis is to examine and test the use of RGB LED as a sensor in a wearable LED development project. In the finalized product developed for Revision games, the RGB LED will be used to sense ambient light intensity and to produce visible color patterns.

Practical tests were made to investigate bi-directional use of RGB LED using self developed microcontroller programming board. The theoretical starting point of the thesis is LEDs and their use as sensors. In particular, the study by the Mitsubishi Electric Research Laboratories in 2003 provided a lot of information. In addition, the theoretical section deals with the RGB color theory as well as the use of micro-controllers and sensors in embedded programming.

In the practical part a series of measurements and tests were planned and carried out to examine the behavior of RGB LED as a sensor and its ability to detect colors. The tests verified that the RGB LED produces voltage from light and thus is suitable for detecting the light intensity. The maximum voltage is produced by the red color component of the RGB LED, which therefore is best suited for sensing purposes. Functionality in an embedded system was proven by using the RGB LED as a sensor with the evaluation board designed for the project. The system did react in the desired way to different degrees of light intensity.

KEYWORDS:

LED, optical sensors, embedded systems, color theory

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	6
2 TEOREETTINEN TAUSTA	8
2.1 Ledin kahdensuuntainen käyttö	8
2.2 RGB-väriteoriaa	11
2.3 Mikrokontrollerit ja sensorit sulautetussa ohjelmoinnissa	13
3 RGB-LEDIN KÄYTTÖ ANTURINA	16
3.1 RGB-ledin tuottaman jännitteen mittaukset	16
3.1.1 Valon kirkkauden suhde jännitteeseen	18
3.1.2 Valon värin vaikutus RGB-ledin tuottamaan jännitteeseen	19
3.2 RGB-ledin käyttö anturina sulautetussa järjestelmässä	21
3.2.1 Testaukseen suunniteltu ohjelmointialusta	21
3.2.2 Ohjelma ja kytkentä valon voimakkuuden havaitsemiseen	24
3.2.3 Yksinkertainen värisensori RGB-ledillä	26
4 YHTEENVETO	29
LÄHTEET	31

LIITTEET

Liite 1. Ote mittauspöytäkirjasta

KUVAT

Kuva 1. RGB-värikuutio.	12
Kuva 2. ATtiny 25-20PU-mikrokontrolleri.	14
Kuva 3. Testiasetus.	17
Kuva 4. ATtiny 25:n liitännät.	22
Kuva 5. Ohjelmointialusta USBtinyISP-ohjelmointilaitteeseen kytkettynä.	24
Kuva 6. Ohjelma valon kirkkauden havaitsemiseen ledillä.	25
Kuva 7. Värintunnistusalgoritmi.	27

KUVIOT

Kuvio 1. Valon kirkkauden suhde RGB-ledin tuottamaan jännitteeseen.	19
---	----

TAULUKOT

Taulukko 1. RGB-ledin materiaalit.

9

Taulukko 2. RGB-ledin erivärisistä valoista tuottamat jännitteet.

20

KÄYTETYT LYHENTEET

CMYK	värimalli, Cyan Magenta Yellow Key
GND	maa, elektroniikassa sähkövirran paluureitti, Ground
LED	ledi, loistediodi, valaiseva puolijohdekomponentti, Light Emitting Diode
RGB	värimalli, käytetään myös punaista, vihreää ja sinistä loistavan ledin yhteydessä, Red Green Blue
SPI	yksinkertainen tiedonsiirtoprotokolla, Serial Peripheral Interface
VCC	elektroniikassa puolijohdepiirien virtaliitäntä, Common-collector voltage

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on osa projektia, jossa suunnitellaan älykästä ledivalaisinta Revision Games Ky:lle. Yritys tarjoaa palveluita mm. visuaalisen suunnittelun ja vaatesuunnittelun aloilla. Suunnitteilla on tuoda markkinoille älyvaatemallisto, jonka ensimmäinen tuote on älykäs heijastinkoru. Tämän tuotteen ensimmäisessä versiossa käytetään RGB-lediä ympäristön valon voimakkuuden aistimiseen sekä valaisevien värikuvioiden tuottamiseen.

Tähän opinnäytetyöhön on rajattu RGB-ledin kahdensuuntaisten ominaisuuksien tutkiminen sekä ledivalaisimen kehitykseen sopivan ohjelmointialustan suunnittelu. Koristeheijastimen älykkäiden toimintojen kehittämisen kannalta vastauksia haetaan seuraaviin kysymyksiin:

- Soveltuuko RGB-ledi valon voimakkuuden havaitsemiseen?
- Voiko RGB-lediä käyttää anturina mikro-ohjaimen analogia-digitaalimuunninta hyväksikäyttäen?
- Voiko RGB-lediä käyttää yksinkertaisena värisensorina?

Tutkimuksen motiivina on saada aikaan pienellä elektroniikan komponenttien määrällä monimutkaisia toimintoja. Työn teoreettisena lähtökohtana ovat mielenkiintoiset, mutta harvalukuiset tutkimukset, joiden mukaan lediä voi käyttää anturina. Tavallisimmin ledejä käytetään valon tuottamiseen joko valaistus- tai merkinantotarkoituksissa. Vähemmän tiedossa oleva ominaisuus on se, että ledi tuottaa valosta pienen jännitteen. Ledin käyttö anturina on tarkoituksenmukaista, koska se mahdollistaa useiden komponenttien poisjättämisen kehitteillä olevasta tuotteesta.

Sama minimalistisuuden idea liittyy työssä kehitettävään ohjelmointialustaan, jolla ledien käyttöä anturina testataan. Markkinoilla on useita kohtuuhintaisia

ohjelmointialustoja, jotka ovat käteviä opiskeluun, toimintojen testaamiseen ja suunnitteluun. Pysyviin käytännön sovellutuksiin ne ovat kuitenkin liian kalliita ja sisältävät ominaisuuksia, joita ei välttämättä tarvita. Älyvaatesovellusta varten oli syytä rakentaa erittäin halpa ja yksinkertainen ohjelmointialusta, joka on mahdollisimman lähellä valmista tuotetta. Pienemmällä komponenttimäärällä ollaan myös lähempänä valmiin laitteen sarjatuotantovaatimuksia. Tämän vuoksi tässä työssä kehitetään ja käytetään testaukseen varta vasten kehitettyä ohjelmointialustaa.

Edellä mainittuihin kysymyksiin haetaan vastauksia suunnittelemalla ja toteuttamalla sarja mittauksia ja testejä, joilla pyritään selvittämään RGB-ledin käyttäytymistä anturina. Testeissä mitataan ledistä ulostulevaa jännitettä eri kirkkauksilla ja väreillä himmennettävän valaisimen, värikalvojen, luksimittarin ja yleismittarin avulla.

RGB-ledissä yksissä kuorissa on punainen, vihreä ja sininen väriledi. Näitä värejä yhdistelemällä saadaan toistettua kaikki värit käyttäen RGB-väriteoriaa. RGB-väriteoriaa käytetään älyvaateheijastimessa visuaalisessa tarkoituksessa, mutta tässä työssä tutkitaan myös mahdollisuutta soveltaa teoriaa valon värin havaitsemiseen.

2 TEOREETTINEN TAUSTA

Tässä luvussa tutustutaan älyvalaisinprojektiin liittyvään teoria- ja tutkimustietoon. Ensimmäiseksi käydään läpi työn keskeisimmän komponentin, ledin, rakennetta, ominaisuuksia sekä kahdensuuntaista käyttöä. Sen jälkeen tutustutaan RGB-väriteoriaan, jonka pohjalta valaisimen visuaaliset toiminnot toteutetaan ja jota käytetään hyväksi tutkittaessa RGB-ledin käyttöä värisensorina. Viimeiseksi luodaan katsaus mikrokontrollereihin ja sensoreihin, joiden varaan useimmat sulautettujen järjestelmien toiminnot rakennetaan.

2.1 Ledin kahdensuuntainen käyttö

Ledi (engl. LED, *Light-Emitting Diode*) on puolijohdekomponentti, joka päästää virran kulkemaan vain yhteen suuntaan ja säteilee valoa jännitteen ollessa tarpeeksi suuri. Valon tuottamiseen vaadittava jännite eli kynnyksjännite riippuu ledin tyypistä. Nykyisin ledejä löytyy lukemattomista elektronisista laitteista ympärillämme. Ledi on yleisin tapa välittää käyttäjille tietoa laitteen toiminnasta. Myös ledivalaisu on yleistymässä niiden pienen sähkönkulutuksen ja pitkän käyttöiän vuoksi. [1, s. 18]

Ledin toiminnalle olennainen elektroluminenssi-ilmiö havaittiin vuonna 1907. Jo 50-luvulla todettiin gallium–arseeni-puolijohdeiden tuottavan infrapunavaloa. Ensimmäiset näkyvää punaista valoa tuottavat ledit, joiden toiminta perustui gallium–arseeni–fosfaatti-puolijohdeisiin, kehitettiin vuonna 1962. Laajan tutkimuksen tuloksena on eri puolijohdeyhdistelmillä onnistuttu valmistamaan infrapuna- ja ultravioletivaloa sekä yleisimpiä päävärejä tuottavia loistediodeja. [2, s. 1–9]

Ledien puolijohdeet on useimmin pakattu muovikoteloon, joka suojaa pieniä ja herkkiä osia ympäristön haitallisilta vaikutuksilta, kuten kosteudelta ja mekaanisilta iskuilta. Kotelon muodolla pyritään usein vaikuttamaan myös ledin säteilemän valon kohdistukseen ja väriin. Kotelon kärki on tyypillisesti muotoiltu kupolin muotoiseksi, jotta valo saataisiin ohjattua kapeammalle alueelle. Muovin

värillä voidaan vahvistaa haluttua värivaikutelmaa. Lisäksi varsinaisen kotelointimateriaalin joukkoon voidaan sekoittaa erilaisia mineraaleja hajottamaan valoa. Tätä ominaisuutta tarvitaan etenkin, kun halutaan sekoittaa ledin sisältä eri säteilylähteestä tulevia erivärisiä valoja yhdeksi värisävyksi. [2, s. 97–98, 192, 198]

Valaisukäyttöön tarkoitettujen lediratkaisujen yleistyessä valkoisen valon tuottaminen on tullut yhä keskeisemmäksi lediteknologian osa-alueeksi. Ensimmäisenä ratkaisuna oli tuottaa valkoista valoa sekoittamalla sitä kahdesta tai useammasta erivärisestä ledistä. Tällä tekniikalla käytetyt ledien väriyhdistelmät ovat sininen-keltainen, punainen-keltainen-sininen ja turkoosi-punainen-vihreä-sininen. Erivärisiä ledejä voidaan käyttää joko erillisinä tai yksiin kuoriin pakattuna tuotteena. Tällä hetkellä on kuitenkin yksinkertaisemman ja halvemmän valmistuksen vuoksi yleistymässä tapa, jossa valkoista valoa tuotetaan sinisestä gallium–nitridi-ledistä lisäämällä puolijohteen päälle keltainen fosforikerros muuntamaan valon aallonpituuksia. [2, s. 332–333, 353]

Tässä tutkimuksessa käytettävässä RGB-ledissä on punaista, vihreää ja sinistä tuottavat ledit pakattu yksiin kuoriin. Taulukossa 1 esitetään RGB-ledin osissa käytetyt puolijohdemateriaalit, värin aallonpituudet ja jännitteen alenema. Värien aallonpituudet pitenevät värispektrillä edetessä, violetilla ollen näkyvän valon lyhyin ja punaisella pisin aallonpituus. Sinisissä ja vihreissä ledeissä käytettävä gallium–indium–nitridi-puolijohdeyhdistelmä on ollut ehdoton edellytys moniväriledien synnylle ja johtanut myös valkoisen ledivalon keksimiseen. [2, s. 302] [3, s.1]

Taulukko 1. RGB-ledin materiaalit.

Väri	Aallonpituus	Jännite	Puolijohteet
Punainen	626 nm	2 V	Alumiini gallium indium fosfaatti (AlGaInP)
Vihreä	525 nm	3,2 V	Gallium indium nitridi (GaInN)
Sininen	450 nm	3,2 V	Gallium indium nitridi (GaInN)

Ledit on suunniteltu säteilemään valoa, mutta ne myös tuottavat energiaa, jos niihin kohdistaa valoa. Vaikka tämä ominaisuus havaittiin jo 70-luvulla, sitä ei ole juurikaan käytetty hyväksi elektroniikkateollisuudessa. Tavallinen ratkaisu ledien kommunikointikäytössä edellyttää yhden näkyvää tai infrapunavaloa tuottavan ledin lähettämiseen ja erityisen anturin vastaanottamiseen jokaiseen kommunikointiin osallistuvaan laitteeseen. Myös liiketunnistimissa käytetään yhtä lediä lähettämään ja anturia vastaanottamaan. Lisäkomponenttien käyttö nostaa aina laitteen valmistuskustannuksia ja etenkin anturit ovat usein suhteellisen kalliita komponentteja. [4, s. 3–5]

Ledi puolestaan on äärimmäisen halpa komponentti, eikä sen käyttö sensorina tai tiedonsiirtoporttina edellytä laitteistoon muita muutoksia kuin yhden kondensaattorin ja ylimääräisen sisääntulon mikrokontrollerista. Aiheesta on tehty varsin vähän tutkimusta (katso esim. [4], [5]). Näistä laajemman tutkimuksen on tehnyt Mitsubishi Electric Research Laboratories, jonka tutkijat tulivat tarvinneeksi yksinkertaista ja halpaa ympäristöä aistivaa sensoria. He alkoivat tutkia ledin käyttöä aistimiseen ja tiedonvälitykseen tarkemmin. Kokeissa ledi kytkettiin kahteen mikrokontrollerin signaalin siirräntäporttiin rinnan pieni-impedanssisen kondensaattorin kanssa. Porttien tilaa vaihtelemalla voitiin mitata kondensaattoriin latautunut virta ja sen purkautumisajasta päätellä ympäristön valoisuus. [4, s. 3, 5–8]

Tutkimuksen tuloksena kehitettiin prototyyppi älykkäälle taustavalolle. Tässä sovelluksessa ledin kahdensuuntaista käyttöä sovellettiin kaukosäätimen taustavaloon yhdessä käden kapasitanssin aistivan läheisyssensorin kanssa. Ratkaisulla haluttiin pienentää paristojen kulumista. Ideana oli, että taustavalo syttyy määräajaksi vain kun kaukosäädin otetaan käteen hämärässä huoneessa ja pysyy päällä vain, jos kaukosäädintä käytetään ennalta määritellyn sekuntimäärän sisällä. Kokeissa havaittiin, että ledi toimittaa tämänkaltaisissa sovelluksissa varsin hyvin valovastuksen virkaa, eikä tarvitse minkäänlaisia muutoksia kaukosäätimen koteloon. Sensorina käytettiin taustavalaisuun tarkoitettua lediä. [4, s. 3–4, 8–9]

Taustavalokokeissa havaittu ledin nopea ja tarkka reagointi valona käytettyyn leditaskulamppuun herätti idean optisen tiedonsiirron mahdollisuudesta. Jatkotutkimuksissa tehtiin kaksi yksinkertaista identtistä piirilevyä, joissa oli kytketty yksi ledi mikrokontrolleriin. Havaittiin, että optinen tiedonsiirto onnistuu lyhyillä etäisyyksillä erittäin hyvin. Tiedonsiirrossa päästiin 250 bitin sekuntinopeuteen suuntaa kohti. Käytetyillä lähetysojoilla yhteys toimi jopa 25 % kellotaajuuspoikkeamaan asti. Jotta yhteys oli virheetön, etäisyyden täytyi olla alle kolme senttimetriä, eikä ledien suuntauksessa toisiinsa nähden saanut olla yli 20 asteen poikkeamaa. [4, s. 9–13]

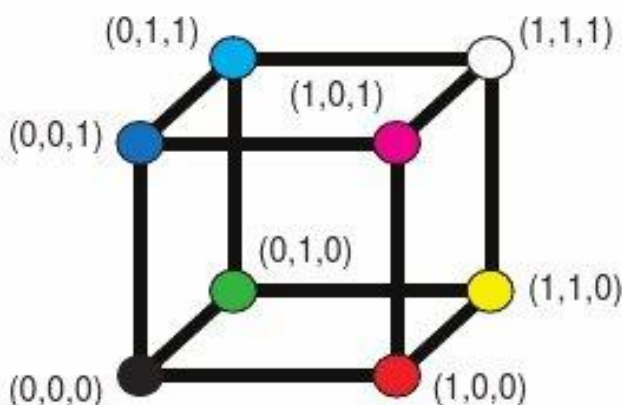
Käytännön sovelluksena ledien kahdensuuntaiseen kommunikointikäyttöön Mitsubishi Electric Research Laboratories kehitti myös prototyypin pienikokoiselle ja halvalla kuljetettavalle tiedonsiirtovälineelle. Komponentteina siinä oli vain ledi, kondensaattori, mikrokontrolleri, painonappi ja 3 V:n paristo. Nappia kahdesti painamalla ja pitämällä sen jälkeen pohjassa laite siirtyi vastaanottotilaan. Tällöin esimerkiksi toiseen vastaavaan laitteeseen tallennettu tieto voitiin siirtää vastaanottavaan laitteeseen optisesti. Tiedon toisto tapahtui painamalla nappia kerran ja pitämällä pohjassa. Käyttöalueita ideoitii elektronisesta lukosta ja tunnistamisesta kaupassa asiointiin. Vahvuutena perinteisiin järjestelmiin vastaavissa käyttötarkoituksissa on laitteiston edullisuus. [4, s. 14–17]

2.2 RGB-väriteoriaa

Digitaalisen värin mittaaminen ja tuottaminen perustuu RGB-malliin. Tässä mallissa väri on jaettu kolmeen osaan: punaiseen, vihreään ja siniseen. Kaikki muut värit muodostetaan värinsekoitusteorian mukaan näistä kolmesta väristä. Digitaalisissa sovelluksissa, joissa ei pyritä äärimmäiseen visuaaliseen tarkkuuteen, käytetään yhtä tavua eli 8 bittiä ilmaisemaan kunkin päävärin voimakkuus. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jokaiselle RGB-värikolmikon värille on käytettävissä arvoja välillä 0–255. RGB-värimalli ei määrittele perusvärien absoluuttisia arvoja, joten sama värisuhde voi näyttäytyä hyvinkin erilaisina eri laitteilla. Tästä syystä on RGB-värimallille kehitetty useita

laajennuksia, joissa myös perusvärien arvot on määritelty. Esimerkkeinä näistä mainittakoon sRGB ja AdobeRGB, joita käytetään valokuvauksessa ja kuvankäsittelyssä laajempaan värikirjoon pyrittäessä. [6, s. 43–44]

Kuva 1 havainnollistaa niin kutsuttua RGB-väriavaruutta. Kuution kärjissä ovat täysin saturoituneet päävärit (punainen, vihreä, sininen) ja johdannaisvärit (turkoosi, magenta, keltainen). Muut värisävyt asettuvat kuution pinnoille suhteessa käytettyjen päävärien kirkkauteen. Värien kirkkaus sijoittuu kuution lävistävälle akselille mustasta valkoiseen. Kuvassa on käytetty värikolmikon arvoille aritmeettista merkintätapaa, toisin sanoen värit saavat arvoja väliltä 0–1. Väriarvojen käyttäytymistä voidaan matemaattisessa mielessä verrata vektorien käyttäytymiseen. Kun punainen (1, 0, 0) lisätään vihreään (0, 1, 0), saadaan tuloksena keltainen (1, 1, 0). Missä tahansa värikolmikossa arvoista pienin määrää väriin lisätyn harmaan määrän ja kaksi muuta määräävät värisävy ja värien kylläisyyden. Esimerkiksi väri (0.7, 0.3, 1.0) on violetti vastine värille (0.4, 0.0, 0.7), johon on lisätty (0.3, 0.3, 0.3). [6, s. 45–46]



Kuva 1. RGB-värikuutio. [6, s. 45]

Käytännössä RGB-värimallia käyttävät laitteet voidaan jakaa väriä tuottaviin ja tunnistaviin. Sekä väriä tuottavat että tunnistavat laitteet jakavat kuvan pieniin

osiin, joita usein kutsutaan pikseleiksi. Värejä tuottavia laitteita ovat esimerkiksi televisio ja tietokoneen näyttö, joissa kummassakin kokonaiskuvan muodostavat pienet erilaisilla tekniikoilla toteutetut RGB-väriyksiköt. Skannerit ja digitaaliset kamerat edustavat värejä tunnistavia laitteita. Niissä värisävyt ja kirkkaudet koodataan numeroarvoiksi matriisiin edustamaan digitaalista toisintoa kohteesta. Värisävyjen tunnistamiseen käytetään erikoistuneita antureita. [6, s. 87–89, 115–116]

Tulostimet ovat kuitenkin poikkeus edellisiin, sillä ne käyttävät substraktiivista CMYK-värimallia. Substraktiivisissa värisysteemeissä osittain läpikuultavat painovärikerrokset vaikuttavat valkoisen pinnan takaisin heijastamiin väreihin. Pääväreinä ovat turkoosi, magenta, keltainen ja musta. Additiiviset värisysteemit, joihin RGB kuuluu, ikään kuin maalaavat valolla. Vertailuna voidaan myös ajatella, että substraktiivisten värisysteemien lähtökohtana on valkoinen väri paperilla, kun taas additiiviset värimallien alkuasetelmana on pimeys eli musta väri. [6, s. 137–138, 163–165]

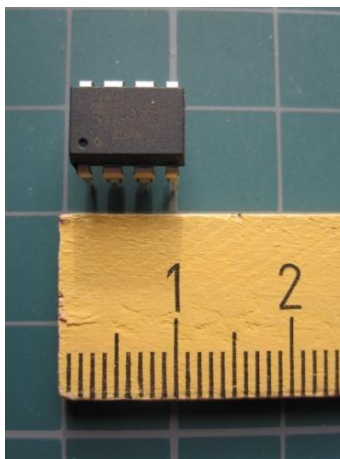
Tässä työssä tutkittavan RGB-ledin tavanomaista käyttöä voi verrata tietokoneen näytön pikseliin. Sitä käytetään samalla tavoin isompien näyttöjen osana esimerkiksi monivärimainostauluissa. Opinnäytetyössä kuitenkin uutena näkökulmana tutkitaan tavallisesta käytöstä poikkeavaa mahdollisuutta käyttää RGB-lediä väriä tunnistavana anturina.

2.3 Mikrokontrollerit ja sensorit sulautetussa ohjelmoinnissa

Mikrokontrolleri on elektroniikan komponentti, joka sisältää kaikki tietokoneen perusosat: mikroprosessorin, oskillaattorin, työ- ja ohjelmamuistin sekä liitännät ulos ja sisään (engl. *Input/Output*). Mikrokontrolleri prosessoi vastaanottamiaan sähköisiä signaaleita ja lähettää signaaleita ulos sisäiseen muistiin ladatun ohjelman mukaan. [7, s. 9]

Voidaan siis ajatella, että mikrokontrolleri on pienikokoinen, halpa ja yksinkertainen tietokone. Kuvassa 2 on tässä työssä käytetty ATtiny 25-20PU

-mikrokontrolleri. Kyseinen kotelointi on suosittu harrastelijoiden käytössä helposta kiinnityksestä johtuen, mutta sitä käytetään myös prototyyppien valmistuksessa teollisessa tuotekehityksessä. Sarjatuotantoon tarkoitetut pintaliitosmallit ovat kooltaan huomattavasti pienempiä.



Kuva 2. ATtiny 25-20PU-mikrokontrolleri.

Sensorit (*anturi, aistin*) ovat keskeisessä osassa sulautetuissa järjestelmissä. Niiden avulla jokapäiväisistä fysikaalisista ilmiöistä voidaan saada prosessoitavaa tietoa. Useimpien sensoreiden toiminta perustuu tavalla tai toisella vastuksen säätämiseen. Tällöin ulkoinen ilmiö, kuten lämpö tai valo, vaikuttaa sensorin vastusarvoon ja sensorin jännitettä mittaamalla saadaan analogista signaalia. Jotta analogista signaalia voidaan hyödyntää digitaaliteknoologiaan perustuvissa sulautetuissa järjestelmissä, tulee jännitteen vaihtelut muuntaa mikrokontrollerin ymmärtämäksi numeerisiksi tiedoiksi. Tähän on käytössä kaksi keinoa. Yleisimmin käytetään analogia-digitaalimuunninta, joka hoitaa kyseisen prosessin vertaamalla sisääntulevia jännitearvoja mikrokontrollerin sisäiseen referenssijännitteeseen. [1, s. 104–106]

Joskus joudutaan kuitenkin työskentelemään laitteistolla, jossa ei analogia-digitaalimuunninta ole käytettävissä tai analogia-digitaalimuuntimen sisääntuloja on vähemmän kuin sensoreita. Tässä tapauksessa voidaan sensorista tulevalla

sähköllä ladata kondensaattoria ja mitata täyteen lataamiseen kuluva aika. Mitä suuremman vastuksen sensori aiheuttaa sen läpi kulkevaan virtaan, sitä hitaammin kondensaattori latautuu. Tämä tapa on hieman hitaampi kuin analogia-digitaalimuuntimen käyttö. Kyse on kuitenkin vain mikrosekunneista, joten useimmissa sovelluksissa ei asialla ole käytännön kannalta mitään merkitystä. [1, s. 107–108]

3 RGB-LEDIN KÄYTTÖ ANTURINA

Tätä opinnäytetyötä varten suunniteltiin sarja kokeita, joilla pyrittiin kartoittamaan RGB-ledin käyttömahdollisuuksia sensorina sulautetuissa järjestelmissä sekä valon voimakkuuden että valon värin havaitsemiseen. Lisäksi pyrittiin löytämään näyttöä ledin käytöstä sensorina mikro-ohjaimen analogia-digitaalimuuntimen avulla ilman rinnalle kytkettyä kondensaattoria ja purkautuvan virran mittaamista.

Ensimmäisissä testeissä keskityttiin tutkimaan ledin sähköisiä ominaisuuksia ilman mikro-ohjainta. Näihin tuloksiin pohjautuen tehtiin toisessa vaiheessa RGB-ledin sensoriominaisuuksia käyttävät ohjelmaprototyypit älyvaateprojektiin suunnitellulle ohjelmointialustalle.

3.1 RGB-ledin tuottaman jännitteen mittaukset

Koeasetelmassa valaisimena käytettiin 150 W:n halogeenilamppua, jonka kirkkautta säädettiin himmentimellä. Valon kirkkautta mitattiin Mastechin luksimittarilla, jonka anturin asento ja sijainti pyrittiin laittamaan mahdollisimman lähelle mitattavaa lediä. Koekytkentälevylle kiinnitetyn RGB-ledin eri värikomponenttien valosta tuottamaa jännitettä mitattiin Bilteman yleismittarilla. Käytetty testiasetelma oli pääosin sama sekä ledin reagointia valon kirkkauteen että väriin mitattaessa. Ensimmäisissä koemittauksissa huomattiin, että halogeenivalaisin lämmitti mittausaluetta vaikuttaen luksimittarin tarkkuuteen. Tästä johtuen asetelmaan lisättiin tuuletin ja digitaalinen lämpömittari, jonka anturi kiinnitettiin luksimittarin anturiin. Näin voitiin taata luksimittarin lämpötilarajoissa (18 °C – 28 °C) pysyminen. Jos lämpötila kohosi liian korkealle, mittauksissa pidettiin tauko. Liitteestä 1 löytyvät tutkimuksessa käytettyjen mittareiden tarkkuudet.

Valaisin ja testikappaleet kiinnitettiin alustaan liikkumisen aiheuttaman mittavirheen poistamiseksi. Värimittauksia tehtäessä tähän perusasetelmaan lisättiin valon väriä vaihtavat värilliset suodatinkalvot, jotka kiinnitettiin halogeenivalaisimen eteen. Mittaukset tehtiin pimeässä huoneessa, jotta

aurionvalon vaihtelulla ei olisi vaikutusta tuloksiin. Erityisen suuri merkitys tällä oli ledien värinerottelukykää tutkittaessa, jolloin suodattimen ohi vuotava valo olisi vääristänyt tuloksia. Kuva 3 havainnollistaa testiasetelman.



Kuva 3. Testiasetelma.

Testiasetelmassa suurinta tulosvaihtelua aiheutti luksimittari. Arvon vaihteluksi havaittiin ± 20 luksia. Anturin asennolla valaisimeen nähden oli myös suuri vaikutus. Tuloksista pyrittiin tekemään keskenään vertailukelpoisia kiinnittämällä anturi samaan asentoon kaikkien mittausten ajaksi. Luksimittarin arvioitiin näyttävän 30 luksia vähemmän anturin ja mitattavan ledin sijainnin eron vuoksi. Toisaalta jännitteen vaihtelut ledeillä olivat 100 luksin välein niin pieniä, että mittaukset suoritettiin pääosin 1000 luksin välein. Poikkeuksen muodostivat jännitteiden minimiarvot, joita mitattiin hieman tiheämmin.

Jännitteen mittauksessa käytetyn yleismittarin arvot eivät juuri heitelleet ja mittarin aiheuttama virhe pieni, joten tarkkuudeksi arvioitiin ± 1 millivolttia. Suuremmat vaikutukset olivat ledin asennolla valaisimeen nähden, joka

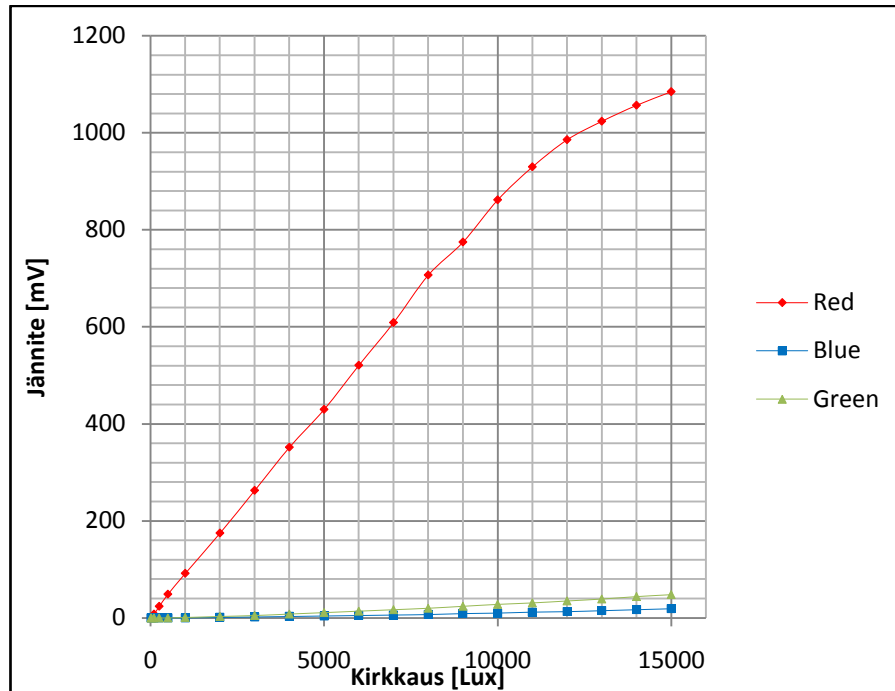
huomattiin vaikuttavan tuloksiin vähintään ± 5 millivolttia. Mittauksissa ledi pääsi heilumaan kytkentäalustalla pari millia sivusuunnassa. Tätä kompensoitiin liikuttamalla lediä, kunnes löydettiin suurin mahdollinen jännitearvo. Ledin asentoherkkyys liittyy mitä ilmeisimmin ledin kärjessä olevaan kapeakulmaiseen linssiin, joka taittaa sisään tulevan valon. Ledin linssin ja kotelon valonhajauttamismateriaalin vaikutuksia mittauksiin ei pystytty tutkimaan, sillä tähän olisi tarvittu tarkempaa ja monipuolisempaa optista testilaitteistoa.

3.1.1 Valon kirkkauden suhde jännitteeseen

Tässä mittauksessa pyrittiin tutkimaan ledin sähköisiä ominaisuuksia eriasteisissa valonvoimakkuuksissa. Haluttiin myös selvittää, mikä RGB-ledin värikomponenteista tuottaa suurimman jännitteen, jotta sitä voitaisiin käyttää anturina älyvaatteissa. Mittaus oli välttämätön, koska minkäänlaista aiempaa seikkaperäistä tietoa ei ole aiheesta saatavilla.

Kuviosta 1 voidaan nähdä, että punaisen ledin tuottama jännite kasvaa lähes lineaarisesti yhteen volttiin asti, jonka jälkeen kasvusta tulee huomattavasti hitaampaa. Ulkona aurinkoisella säällä mitatut maksimiarvot liikkuvat 1,2 voltin tienoilla kirkkauden ollessa 100 000 luksin luokkaa. Vihreä ja sininen värikomponentti tuottivat jännitettä vastaavissa olosuhteissa maksimissaan 0,5 volttia ja sisällä tehdyissä keinovalomittauksissa huomattavasti vähemmän. Tuloksista voidaan päätellä, että punainen ledi sopii herkkyytensä vuoksi parhaiten käytettäväksi anturina. Mittausten tarkat tulokset sekä vertailu mittaukset loisteputkivalaistuksessa ovat listattuna liitessä 1.

Vertailuarvoina valaistusvoimakkuudesta mainittakoon, että sisätiloissa mitattiin mittarin ja valaisimen etäisyydestä riippuen tavanomaisen kattovalaistuksen tuottavan noin 300–700 luksia sekä keittiön ja työpöydän valojen läheisyydessä 700–3000 luksia.



Kuvio 1. Valon kirkkauden suhde RGB-ledin tuottamaan jännitteeseen.

3.1.2 Valon värin vaikutus RGB-ledin tuottamaan jännitteeseen

Tässä mittauksessa laitteisto sama kuin edellä, mutta valaisimen valon väriä muutetaan erivärisillä kalvosuodattimilla. Tarkoituksena oli tutkia, löytyykö RGB-ledin värikomponenttien ulostulojännitteiden suhteista yhtäläisyyksiä RGB-väriteoriaan tai eroavatko eriväristen valojen aiheuttamat jännitteet niin paljon, että se mahdollistaisi värien tunnistamisen. Käytössä olleella halogeenivalaisimella ei pysytty tummilla suodattimilla tuottamaan 1700 luksia kirkkaampaa valoa. Tästä johtuen liitteen 1 tuloksissa nämä puuttuvat kohdat on merkitty X-kirjaimella.

Taulukosta 2 näemme, että punainen, vihreä ja sininen valo tuottavat selkeästi erilaiset jännitesarjat. Tämä tukee yksinkertaisen värintunnistuksen mahdollisuutta. Tuloksista voidaan myös päätellä, että valon kirkkaudella on suuri merkitys värintunnistuksen kannalta. Mitä pienemmäksi valon kirkkaus tulee, sitä lähemmäksi RGB-ledin erivärisistä valoista tuottamat jännitteet

tulevat toisiaan. Toisin sanoen värin tunnistaminen vaikeutuu. Muiden mitattujen värien tulokset löytyvät liitteestä 1.

Taulukko 2. RGB-ledin erivärisistä valoista tuottamat jännitteet.

Suodatin	Kirkkaus [lx]	Punainen [mV]	Sininen [mV]	Vihreä [mV]
Punainen	4000	420	0	0
	3000	311	0	0
	2000	208	0	0
	1700	178	0	0
	1200	124	0	0
	900	92	0	0
	450	47	0	0
	Vihreä	4000	197	1
3000		150	1	4
2000		100	0	2
1700		83	0	1
1200		59	0	1
900		45	0	0
450		23	0	0
Vaalean sininen		4000	240	9
	3000	182	6	14
	2000	123	3	8
	1700	99	2	5
	1200	70	1	3
	900	53	1	2
	450	27	0	1

Mittauksissa punainen, keltainen ja oranssi valo tuottivat jännitettä vain punaiseen lediin. Tämä asettaa omat rajoituksensa värintunnistukselle, mutta ei kuitenkaan sulje pois alkeellista värinerottelukykä. Vihreä ja sininen valo tuottivat selkeästi erilaisia jännitearvoja.

Voi olla, että toisella ledillä tulokset olisivat erilaisia. Tämä edellyttäisi kuitenkin laajempaa testausta erilaisilla ja eri valmistajien tekemillä ledeillä. Asiaa vaikeuttaa se, että ledeissä ei juuri koskaan ole painettuna mitään tietoja ledin ominaisuuksista tai valmistajasta, jolla eritellä testattavia ledejä. Ja vain harvoin

ledihin on saatavissa tarkkaa käyttötiedotetta. Lisäksi toimivan monivärisensorin toteutus vaatisi myös tarkempaa tietoa jännitteiden skaalautumisesta analogia-digitaalimuuntimessa.

3.2 RGB-ledin käyttö anturina sulautetussa järjestelmässä

Älyvaateprojektia varten tarvittiin käytännön testejä RGB-ledin käytöstä anturina sulautetussa järjestelmässä. Jotta testaustulokset olisivat mahdollisimman yhtenevät ensimmäistä älyvalaisinprototyypin kanssa, suunniteltiin ohjelmallista testausta varten ohjelmointialusta. Projektin ohjelman kannalta tärkein tutkimustulos oli valon voimakkuuden havaitseminen. Tästä esitetään perusmuotoinen ohjelmakoodi valon havaitsemiseen ledillä.

RGB-ledin mittausten aikana heräsi myös ajatus värin havaitsemisen mahdollisuudesta, joten aihetta päätettiin tutkia samalla laitteistolla myöhempää käyttöä varten. Tässä työssä esitetään mittaustuloksiin perustuva algoritmi, joka tunnistaa kolme pääväriä.

3.2.1 Testaukseen suunniteltu ohjelmointialusta

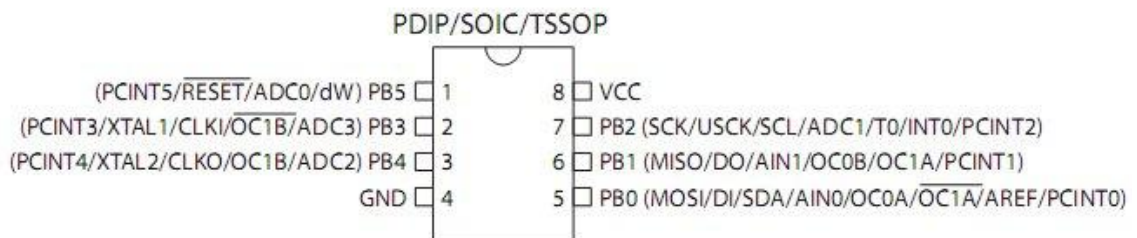
Ledien toiminnan testaamiseksi älyvaateprojektiin valitulla mikrokontrollerilla suunniteltiin yksinkertainen ohjelmointialusta. Tarkoituksena oli päästä mahdollisimman lähelle valmiin tuotteen komponenttivalikoimaa ja tehdä mikrokontrollerin ohjelman lataamisesta koekytkentäalustalla toteutettua tilapäiskytkentää varmempaa. Lisäksi kiinteää ohjelmointialustaa on helpompi kuljettaa testattavaksi eri ympäristöihin ilman huolta liitosten irtoamisesta.

Koska alustalla on tarkoitus kehittää ja testata paristokäyttöön suunniteltavia laitteita, piti alustasta tehdä paristotoiminen. Käyttöön valittiin 3 voltin CR2032-litiumparisto, joka kytketään päälle mekaanisella virtakytkimellä. Kehitystyön alkuvaiheessa kuluu usein kuitenkin paljon aikaa pienten ohjelmallisten elementtien säätämiseen ja siten myös toistuvaan mikrokontrollerin uudelleenohjelmoimiseen, joten vaihtoehtoiseksi virtalähteeksi valittiin projektissa käytetyn USBtinyISP-ohjelmointilaitteen 5 voltin jännitelähtö.

Mikrokontrollerin käyttöjännitteeksi ATtiny25:n käyttötiedote (engl. *datasheet*) nimeää 2,7–5,5 V [8, s. 1].

Ohjelmointilaitteen liittämiseksi ohjelmointialustaan asennettiin 2x3-pinninen liitin, joka mahdollistaa tiedonsiirron SPI (engl. *serial peripheral interface*) protokollaa käyttäen. Ohjelmointilaitteen ja mikrokontrollerin välillä kulkevat signaalit ovat MOSI, MISO, SCK ja RESET [8, s. 155]. Riittävän käyttöjännitteen takaamiseksi ohjelmointivaiheessa, käytetään ohjelmointilaitteen jännitelähtöä. Toisin sanoen myös mikrokontrollerin VCC ja GND kytketään ohjelmointilaitteeseen. Kuvasta 4 selviää kyseisten liitäntöjen fyysinen sijainti.

Pinout ATtiny25/45/85



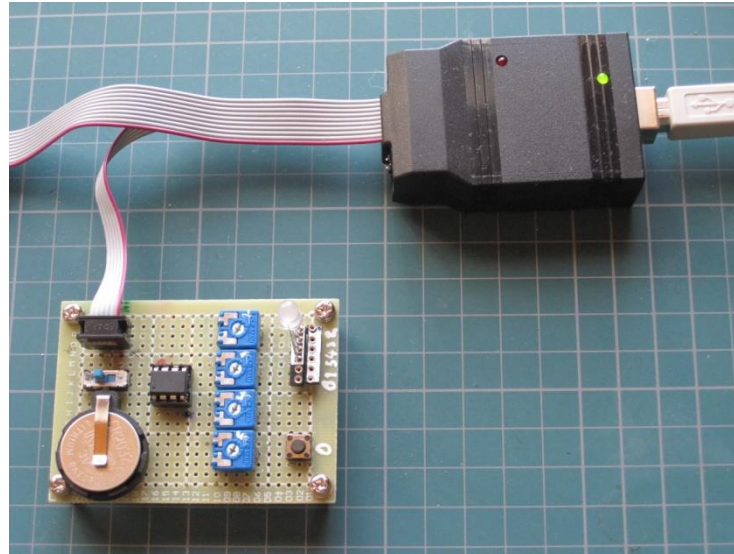
Kuva 4. ATtiny 25:n liitännät. [4, s. 2]

Virtalähteen ja herkkien mikropiirien välille laitetaan usein pieni-impedanssinen kondensaattori tasaamaan jännitteen huojuntaa [9, s. 2–3]. Sovelluksissa, joissa toimintavarmuus on ehdoton vaatimus, tällainen virtalähteen ohitus (engl. *Power Supply Bypass*) on välttämätön [10, s.98]. On kuitenkin mahdollista, että ledien ohjauksessa ei epätasaisella jännitteellä ole suurta merkitystä. Ohjelmointialustalle sijoitettiin kytkentäholkki, jonka avulla toimintaa voidaan testata kondensaattorin kanssa tai ilman.

Kuvasta 4 näemme, että ATtiny25:ssa on signaalien siirrantään käytössä 6 porttia. Kaksi jalkaa käytetään käyttöjännitteelle (VCC) ja maalle (GND).

Kaikissa jaloissa on siirrännän lisäksi lukuisia erikoistoimintoja. Ledien sensorikäytön testaamiseen kannalta merkityksellisimmät ADC-portit (engl. *Analog to Digital Converter*), joiden avulla saadaan analogiset jännitetasot muunnettua digitaaliseksi signaaliksi. Varsinaisessa suunnitteluprojektissa tullaan käyttämään myös pulssileveysmodulaatiota. [8, s. 2 & 62]

Liitettäessä ledejä mikrokontrollerin ulostuloihin, astuvat etuvastukset kuvaan. Niillä rajoitetaan ledeissä kulkevan virran suuruutta. Etuvastusten arvo riippuu virtalähteestä ja ledien laadusta. Useissa ohjelmointialustoissa on etuvastukset jätetty käyttäjän huoleksi. Käytäntö on opettanut, että erilaisten ledien ominaisuuksia testattaessa sopivien esivastusten etsimiseen ja kytkemiseen kuluu tarpeettoman paljon aikaa. Lisäksi ohjelmointialustaa liikutellessa ylimääräiset tilapäiset liitokset aiheuttavat kytkentöihin turhia epävarmuustekijöitä. Joissakin tapauksissa etuvastukset voidaan jopa jättää kokonaan pois. Yksi vaihtoehto olisi ollut asentaa kytkentäholkit, joihin kulloiseenkin testiin sopivat etuvastukset voi kiinnittää. Koska kyseessä on nimenomaan ledien testaamisen suunniteltu alusta, päädyttiin kiinteästi asennettuihin säädettäviin vastuksiin. Näin päästään eroon ylimääräisistä irtoavista komponenteista, joista voisi olla vaivaa kuljetettaessa laitetta erilaisiin testiympäristöihin. Kuten kuvasta 5 näemme, etuvastukset on asennettu neljälle ledille. Kuvassa myös USBtinyISP-ohjelmointilaite kytkettynä ohjelmointialustaan. [1, s. 15–16]



Kuva 5. Ohjelmointialusta USBtinyISP-ohjelmointilaitteeseen kytkettynä.

Ledien kahdensuuntaista käyttöä testataan mahdollisesti myös Mitsubishiin kytkentää käyttäen, joka huomioitiin ohjelmointialustan suunnittelussa. Kyseiseen kytkentään käytettiin kaksi mikrokontrollerin I/O-porttia: toinen ledin valaisemiseen ja toinen jännitteen lukemiseen. Lisäksi kytkentään tarvittaisiin vielä yksi kondensaattori. [4, s. 6] Tämän tutkimuksen pääpaino on kuitenkin yksikertaisemmalla kytkentätavalla, jossa mitataan jännitettä virran sijaan, jolloin kondensaattori voidaan jättää pois.

Käyttämällä 6*2-pinnistä holkkirimaliitintä ja säädettäviä esivastuksia, voidaan mikrokontrolleriin vaivattomasti liittää erilaisia ledejä. Kytkentälevylle lisättiin vielä mikrokytkin, jolla voidaan tarvittaessa vaikuttaa ohjelman toimintaan ajon aikana.

3.2.2 Ohjelma ja kytkentä valon voimakkuuden havaitsemiseen

Kuvassa 6 on perusmuotoinen ohjelmakoodi ATtiny25-mikrokontrollerille valon havaitsemiseen ledillä. Ohjelma koostuu laitteistoon sopivista analogia-digitaalimuuntimen asetuksista ja ikuisesta silmukasta. Asetusosassa määritellään tavanomaiset analogia-digitaalimuuntimen perusasetukset. Vertailujännite on asetettu 1,1 volttiin, koska mittauksiin pohjautuen suurimmat

ledin tuottamat jännitteet nousevat korkeintaan 1,2 volttiin. Kun älyvalaisinta käytetään talvella pimeään aikaan, ei keinovaloilla päästä edes näin korkeaan jännitteeseen. Analogia-digitaalimuuntimen mittaukset perustuvat sisäisen vertailujännitteen käyttöön. Seuraavaan suurempaan valittavaan 2,56 voltin vertailujännitteeseen tarvitaan ATtiny25 käyttöohjeen mukaan 3 voltin käyttöjännite. Paristojen vanhetessa niiden tuottama jännite pienenee helposti alle nimellisjännitteen. Tällä taataan myös mahdollisimman pitkäaikainen toiminta 3 voltin paristolla, koska itse mikrokontrollerin perustoimintoihin riittää 2,7 voltin jännite.

Ohjelman silmukkaosassa verrataan analogia-digitaalimuuntimen tuottamaa arvoa ennalta asetettuun raja-arvoon ja toimitaan ohjeiden mukaan. Tässä tapauksessa, jos ledi tuottaa vähemmän jännitettä kuin raja-arvo, portissa 4 oleva toinen ledi sytytetään. Muussa tapauksessa ledi sammutetaan.

```

1  #include <avr/io.h>
2
3  int main (void)
4  {
5      DDRB |= (1 << 4); // PB4 ulostuloksi
6      ADCSRA |= (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1); // esijakaja 125kHz @ 8MHz
7      ADMUX |= (1 << REFS1); // ADC vertailujännite 1.1 volttiin
8      ADMUX |= (1 << ADLAR); // ADC tulos 8 bittisenä (0-255)
9      ADMUX |= (1 << MUX0); // MUX käyttää lukemaan ADC1 (PB2)
10     ADCSRA |= (1 << ADEN); // sallii ADC
11
12     while(1) //loputon silmukka
13     {
14
15         ADCSRA |= (1 << ADSC); // AD-muunnos
16         if(ADCH < 200) // vertailu ADC rekisterin arvoon
17         {
18             PORTB |= (1 << 4); // PB4 päälle
19         }
20
21         else
22         {
23             PORTB &= ~(1 << 4); // PB4 pois päältä
24         }
25     }
26 }
27
28
29

```

Kuva 6. Ohjelma valon kirkkauden havaitsemiseen ledillä.

RGB-ledin käyttö sensorina testialustalla onnistuu hyvin ilman kondensaattoria analogia-digitaalimuunninta käyttäen. Reagointirajaa säätämällä testattava ledi saatiin sammuttamaan toinen ledi esimerkiksi sisävalaisimen lähelle

käveltäessä ja sytyttämään taas pimeämmälle alueelle mentäessä. Mittauksissa havaittiin, että tällä kokoonpanolla ympäristön valon voimakkuuden aistimiseen käy ehdottomasti parhaiten RGB-ledin punainen komponentti. Ohjelman toimintaa testatessa kytkettiin punainen ledi havaitsemaan ympäristön valoisuutta ja sininen syttymään pimeässä.

Ohjelman ensimmäiset testit tehtiin käyttämällä kahta erillistä lediä. Punainen merkinantoledi toimi anturina ja kirkas sininen ledi ilmaisi toimintaa. Käytettäessä RGB-ledin punaista ja sinistä ilmeni, että anturina toimiva osa reagoi merkkivalona toimivan ledin valoon. Seurauksena oli merkkivalon nopeaa vilkkumista, kun mentiin pimeään. Valoisassa kokonaisuus toimi kuten pitikin eli pysyi sammuneena. Ratkaisuna tähän on sammuttaa valaisevat ledit mittauksen ajaksi. Jos sammutuksen tekee tarpeeksi nopeaksi, ei silmän pitäisi huomata valon vilkkumista.

Käytännön valaisinsovellutuksessa suurin ongelma on ohjelman toiminnan säätäminen ympäristön valaistukseen ja käytettyihin komponentteihin sopivaksi. Kalibroittoiminto, joka tallettaa halutun valoisuuden raja-arvon, voisi olla käytännöllinen ratkaisu tähän. Eeprom-muistiin talletettuna raja-arvon voisi säilyttää myös, kun virta on kytketty pois laitteesta.

3.2.3 Yksinkertainen värisensori RGB-ledillä

Edellisen luvun valon voimakkuuden havainnointiin suunnitellun ohjelman analogia-digitaalimuuntimen asetukset ovat sovellettavissa myös värin havaitsemistarkoitukseen. Kuitenkin on huomioitava, että pyrittäessä tunnistamaan värejä tarvitaan suurempaa tarkkuutta, kuin pelkkään valon voimakkuuden havainnointiin. ATtiny25-mikroohjaimen tarjoama 10-bittinen erotuskyky on syytä ottaa käyttöön. Tällöin päästään hyvin lähelle 1 millivoltin erotuskykyä ($1,1 \text{ V} / 1024 \approx 1,1 \text{ mV}$), joka on välttämätön värien erottamiseksi mahdollisimman pienellä valonvoimakkuudella.

Kuvassa 7 näemme testitulosten perusteella tehdyn värintunnistusalgoritmin, joka erottaa, onko sen näkemä valo punaista, vihreää vai sinistä, ja ilmoittaa

tuloksesta sytyttämällä havaitun värin. Mittaustuloksista huomattiin, että kun valon voimakkuus on alhainen, on punaisen ledin tuottama jännite alhainen. Tällöin ei myöskään vihreä ja sininen ledi tuota jännitettä millään värillä. Toisin sanoen jopa perusvärien tunnistus on mahdotonta. Näistä syistä algoritmin lähtökohdaksi valittiin havaittu punainen, koska se tuotti jännitettä kaikilla väreillä. Tällä tavoin voidaan samalla rajata tunnistuksesta ulos ne tapaukset, joissa näkyvän valon määrä ei riitä värin tunnistamiseen.

Itse algoritmi toimii vertaamalla kunkin ledin värikomponentin tuottamaa analogia-digitaalimuuntimelta saatua arvoa ennalta asetettuun minimiarvoon. Jos yksittäinen vertailuarvo ylittyy, siirrytään seuraavaan vertailuun. Ensin verrataan punaista, sen jälkeen vihreää ja lopuksi sinistä. Jos vertailuarvo ei ylity, värintunnistus on tapahtunut. Esimerkiksi vihreä valo tuottaa mittausten perusteella arvoja punaisella ja vihreällä, mutta vain minimaalisia arvoja sinisellä ledillä.

```

1
2  if(red_ADC > REDMIN){
3      if(green_ADC > GREENMIN){
4          if(blue_ADC > BLUEMIN){
5              light(BLUELED);
6          }
7      }
8      else{
9          light(GREENLED);
10     }
11 }
12 }
13

```

Kuva 7. Värintunnistusalgoritmi.

Analogia-digitaalimuuntimen antamat arvot ovat täysin riippuvaisia ohjelman asetuksissa valitusta vertailujännitteestä ja näytteenottotarkkuudesta sekä käytetyn ledin optisista ja fyysisistä ominaisuuksista, joten lukuarvoja ei esitetä tässä yhteydessä.

Pienemmillä valonvoimakkuuksilla värinerottelukyky laskee. Tätä ilmiötä voisi mahdollisesti kompensoida kompensoimalla tuloksia suhteessa punaisen ledin antamaan lukemaan. Jos RGB-ledin punainen komponentti tuottaa pientä jännitettä ja vihreä ja sininen nolaa, on mittauksiin perustuen ympäristön valaistus heikko. Heikko valoteho voidaan mahdollisesti kompensoida valaisemalla aluetta RGB-ledillä, tuottaen valkoista valoa ja mittaamalla välittömästi sen jälkeen. Käytännöllisempänä ratkaisuna voisi kuitenkin käyttää erillistä valkoista lediä.

Myös ledin optiikalla on vaikutusta värintunnistuskäytössä. Testeissä pyrittiin löytämään asento, jossa ledin mitattava värikomponentti tuotti suurimman jännitteen. Älyvaatesovelluksessa ledin kulmaan suhteessa tunnistettavaan väriin ei pysty tällä tavalla vaikuttamaan, joten parhaaseen tulokseen päästäisiin luultavimmin mittaamalla useita arvoja lyhyimmällä mahdollisella aikavälillä ja laskemalla niistä keskiarvo.

4 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin RGB-ledin kahdensuuntaisia ominaisuuksia testien ja mittausten avulla sekä suunniteltiin älyvalaisimen tuotekehittelyyn sopiva ohjelmointialusta. Valon voimakkuuden havaitsemiseen soveltuvuutta lähdettiin tutkimaan mittaamalla RGB-ledin eri valon voimakkuuksilla tuottamia jännitteitä. Mittauksissa havaittiin, että RGB-ledi tuottaa jännitettä valosta, kuten tavallisetkin ledit. Suurimman jännitteen tuottaa RGB-ledin punainen värikomponentti, joka tästä syystä soveltuu parhaiten anturitarkoitukseen.

Tutkimus osoitti, että RGB-lediä voidaan käyttää sulautetussa järjestelmässä yhtä aikaa sekä valoa tuottamaan että ympäristön valon voimakkuutta havaitsemaan. Tämä todistettiin käyttämällä RGB-lediä yhdessä tätä projektia varten suunnitellun ohjelmointialustan kanssa. Järjestelmä saatiin reagoimaan halutulla tavalla eriasteisiin valon voimakkuuden vaihteluihin. Ohjelmointialusta suunniteltiin siten, että siinä ei ole mitään käytön kannalta tarpeettomia komponentteja. Näin se vastaa jo tässä vaiheessa lopullisen älyvalaisimen elektroniikkaa.

Käytännön testeissä RGB-ledillä todettiin, että anturina käyttö onnistuu analogia-digitaalimuuntimen avulla. Tämän tiedon avulla valmistettavasta tuotteesta voidaan komponenttien määrää edelleen vähentää.

Tuloksien mukaan ainakin perusvärien tunnistaminen RGB-ledillä olisi mahdollista. Useampiin väriihin toimivan kokonaisuuden kehittäminen edellyttäisi laajempaa tutkimusta ja testausta.

Työ jatkuu älyvaatteiden kanssa käyttäen hyväksi tämän tutkimuksen tuloksia ja suunniteltua ohjelmointialustaa. Jatkossa kehitetään mahdollisesti toimintoja, joissa käytetään RGB-ledin värintunnistusominaisuuksia. Opinnäytetyö auttoi myös keräämään tietoa ja tekemään tutkimuksia järjestelmällisesti.

Tutkimuksen aikana heräsi uusi ajatus, että ledejä voisi teoriassa käyttää myös viestintään siten, että signaalin lisäksi muuttujana käytettäisiin myös valon väriä,

jolloin tiedonsiirto nopeutuisi. Jatkotutkimuksena voisi selvittää, onko tätä joskus yritetty ja miksi tällainen tekniikka ei ole käytössä. Myös RGB-ledin käyttö värisensorina on mielenkiintoinen aihe jatkotutkimukselle.

LÄHTEET

- [1] Igoe, Tommy & O'Sullivan, Dan 2004. Physical Computing. Course Technology, Incorporated.
- [2] Schubert, E. Fred 2006. Light-Emitting Diodes. Second edition. Cambridge University Press.
- [3] YSL-R596CR3G4B5W-F12 RGB Triple Color LED Datasheet. China Young Sun LED Technology CO., LTD. Luettu: 29.3.2011 Saatavissa: <http://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LED/YSL-R596CR4G3B5W-F12.pdf>.
- [4] Dietz, Paul; Yerazunis, William & Leigh, Darren 2003. Very Low-Cost Sensing and Communication Using Bidirectional LEDs. Cambridge, Massachusetts, USA. Mitsubishi Electric Research Laboratories. Saatavissa: <http://www.merl.com/papers/docs/TR2003-35.pdf>.
- [5] Bent, Sarah; Moloney, Aoife & Farrell, Gerald 2006. LEDs as both Optical Sources and Detectors in Bi-directional Plastic Optical Fibre Links. Julkaisussa: Irish Signals and Systems Conference, 2006. IET. Dublin, 28-30.
- [6] Stone, Maureen 2003. Field Guide to Digital Color. A K Peters, Limited.
- [7] Vahtera, Pentti 2008. Micro-ohjaimen ohjelmointi C-kielellä 2. 2. painos. Microsalo OY. Saatavissa: http://www.microsalo.com/Kirja/Kirja_29092008.rar.
- [8] ATtiny25/45/85 Preliminary. Revision M. 2010. Atmel Corporation. Saatavissa: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2586.pdf.
- [9] Kundert, Ken 2004. Power Supply Noise Reduction. Designer's Guide Consulting, Inc. Saatavissa: <http://www.designers-guide.org/Design/bypassing.pdf>.
- [10] Gadre, Dhananjay V. 2000. Programming & Customizing the AVR Microcontroller. McGraw-Hill Professional.

Ote mittauspöytäkirjasta

MITTAUSPÖYTÄKIRJA

31.3.2011

Jouni Salmijärvi

Opinnäytetyö

Valon voimakkuuden ja värin vaikutukset RGB-ledin tuottamaan jännitteeseen.

Käytetty laitteisto:

Biltema Art. 15-133 monitoimimittari (No. 07116581)

Tasajännitteen mittaaminen (VDC).

Mittausalue	Erottelutarkkuus	Tarkkuus
200 mV	100 μ V	$\pm 0,5$ % ± 2 numeroa
2000 mV	1 mV	$\pm 0,5$ % ± 2 numeroa
20 V	10 mV	$\pm 0,5$ % ± 2 numeroa

Mastech MS6610 Luxmeter (20050669079)

Mittausalue	Erottelutarkkuus	Tarkkuus
0-1999 lx	1 lx	$\pm(5$ % +2d)
2000-19990 lx	10 lx	$\pm(5$ % +2d)
20000-50000 lx	100 lx	$\pm(5$ % +2d)

Tarkkuus kalibroitu 18 °C-28 °C lämpötilaan.

Halogeenivalaisin 150W

Cotech EMD200 Himmennin

EHQ Power PAR spot filters

- red, yellow, orange, violet, pink, light blue, dark blue

Tulokset:

Kirkkauden suhde jännitteeseen.

Lux	Red [mV]	Blue [mV]	Green [mV]
15000	1085	19	48
14000	1057	17	44
13000	1024	15	39
12000	986	13	35
11000	930	12	31
10000	862	10	28
9000	775	9	24
8000	707	7	20
7000	609	6	17
6000	521	5	14
5000	430	4	11
4000	352	3	8
3000	263	2	5
2000	175	1	3
1000	92	0	1
500	49	0	0
250	24	0	0
100	8	0	0
20	1	0	0
15	0	0	0

Kirkkauden suhde jännitteeseen.

11W loisteputki. Kirkkauden säätö etäisyydellä.

Lux	Red [mV]	Blue [mV]	Green [mV]
12000	988	43	60
8000	601	21	32
4000	399	15	18
3000	245	12	12
2000	183	6	8
1700	165	6	7
1200	116	4	4
900	89	3	3
450	46	2	1
250	25	1	0
200	20	0	0

Kirkkauden suhde jännitteeseen värisuodattimella

Suodatin	Lux	Red [mV]	Blue [mV]	Green [mV]
Punainen	4000	420	0	0
	3000	311	0	0
	2000	208	0	0
	1700	178	0	0
	1200	124	0	0
	900	92	0	0
	450	47	0	0

Suodatin	Lux	Red [mV]	Blue [mV]	Green [mV]
Vihreä	4000	197	1	6
	3000	150	1	4
	2000	100	0	2
	1700	83	0	1
	1200	59	0	1
	900	45	0	0
	450	23	0	0

Suodatin	Lux	Red [mV]	Blue [mV]	Green [mV]
Tumman	4000	x	x	x
Sininen	3000	x	x	x
	2000	x	x	x
	1700	4	12	31
	1200	2	7	19
	900	1	4	13
	450	0	1	4

Suodatin	Lux	Red [mV]	Blue [mV]	Green [mV]
Keltainen	4000	360	0	0
	3000	271	0	0
	2000	183	0	0
	1700	155	0	0
	1200	110	0	0
	900	83	0	0
	450	42	0	0

Suodatin	Lux	Red [mV]	Blue [mV]	Green [mV]
Vaalean	4000	412	3	7
punainen	3000	310	2	5
	2000	205	1	2
	1700	175	0	2
	1200	121	0	1

900	93	0	1
450	44	0	0

Suodatin	Lux	Red [mV]	Blue [mV]	Green [mV]	
Violetti	4000	x	x	x	
	3000	x	x	x	
	2000	x	x	x	
	1700		42	6	10
	1200		29	3	5
	900		21	2	3
	450		10	0	1

Suodatin	Lux	Red [mV]	Blue [mV]	Green [mV]
Vaalean	4000	240	9	21
Sininen	3000	182	6	14
	2000	123	3	8
	1700	99	2	5
	1200	70	1	3
	900	53	1	2
	450	27	0	1

Suodatin	Lux	Red [mV]	Blue [mV]	Green [mV]
Oranssi	4000	450	0	0
	3000	334	0	0
	2000	220	0	0
	1700	140	0	0
	1200	132	0	0
	900	104	0	0
	450	48	0	0