

UTKAST
Kalibrering av ljussensor
för Parans solpanel

Svedberg, Pär
svpar@student.chalmers.se
19821112-7652

Åkergren, Oskar
akergren@student.chalmers.se
19880508-7114

2015-05-05

Version 0.17

Sammandrag

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Morbi dignissim vitae ante nec commodo. Quisque malesuada, nibh ac bibendum interdum, leo tortor mollis ipsum, cursus mattis tortor eros nec neque. Pellentesque eget tortor sollicitudin, mattis ex id, iaculis sem. Nullam sed lectus ut nisi porta sagittis eu vel justo. Suspendisse ut purus vel dolor molestie condimentum et ac diam. Cras ultrices orci sed lorem elementum, eu congue sem imperdiet. Phasellus id mauris bibendum, mollis lorem et, vehicula massa.

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Morbi dignissim vitae ante nec commodo. Quisque malesuada, nibh ac bibendum interdum, leo tortor mollis ipsum, cursus mattis tortor eros nec neque. Pellentesque eget tortor sollicitudin, mattis ex id, iaculis sem. Nullam sed lectus ut nisi porta sagittis eu vel justo. Suspendisse ut purus vel dolor molestie condimentum et ac diam. Cras ultrices orci sed lorem elementum, eu congue sem imperdiet. Phasellus id mauris bibendum, mollis lorem et, vehicula massa.

Beteckningar

C	Programmeringsspråk
I/O	Input/Output
lm	lumen, SI-enhet för ljusflöde
lux	SI-enhet för belysning, $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, gränssnitt för seriell kommunikation

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Mål	2
1.4	Frågeställning	2
1.5	Avgränsningar	2
1.5.1	Hårdvara	2
1.5.2	Mjukvara	2
2	Metod	3
2.1	Vetenskaplig metod	3
2.2	Arbetsmetodik	4
3	Teknisk bakgrund	5
3.1	Parans SP3	5
3.1.1	Mikrokontrollerkortet	5
3.1.2	Fiberoptik	5
3.1.3	Ljussensor	5
4	Genomförande	7
4.1	Steg 1	7
4.2	Steg 2	7
4.3	Steg 3	8
5	Resultat	10
5.1	Algoritm	10
5.2	Optisk kommunikation	10
6	Diskussion	11
	Referenser	12
	Bilagor	I
A	Simuleringsresultat av kalibreringsalgoritm	I
B	Flödesschema av kalibreringsalgoritmen	II
C	Specifikationer	III
C.1	Arduino	III

Figurer

1	Utformning av metod	3
2	Exempel på förväntade matriser	7
3	Jämförelse algoritmernas antal söksteg	9
4	Schema över sändare/mottagare	10

Tabeller

1	Minskning av antal steg mellan varje version	9
---	--	---

1 Indroduktion

1.1 Bakgrund

Parans är utvecklare av en produkt som via optiska fibrer levererar naturligt solljus in i byggnader, som ett alternativ till dagens traditionella ljuskällor. Bolaget är baserat i Göteborg men levererar systemen globalt och har flera installationer runt om i världen.

Produkten fokuserar in solljus i optiska fibrer och styrs med hjälp av två stegmotorer för att följa solens bana. Styrningen sker dels med en algoritm som, baserat på geografisk position och tid, ger en solposition i grader och dels från en solsensor med fotocell som ger data för en finstyrning av panelens positionering då solen är framme. Detta för att alltid maximera solljuset som levereras in i fibern.

Styrkortet och motorerna till panelen drivs av en spänning om tolv (12) volt och kortet är en egen design kring mikrokontrollen PIC32. Källkoden till panelen är skriven i C och kommunikation till enheten sker via seriell förbindelse över USB, där en USB till RS-232 omvandlare är integrerad på styrkortet. För att skicka instruktioner till panelen används en terminalemulator.

Fotosensorn som används i solpanelen kan representeras som ett koordinatsystem, där sensorn förväntar sig att ljuset fokuseras till en punkt som träffar origo som standard. Problemet som Parans har är tvådelat, det första problemet att i tillverkning av panelen kan linsen fokusera ner ljuset något vid sidan av origo på sensorn, vilket leder till sämre ljusintag i de optiska fibrerna. Det andra problemet är att solen inte går att fokusera ner till en punkt, utan kommer alltid att representeras av en disk, vilket kan förvirra sensorn något och då även detta leda till sämre ljusintag i de optiska fibrerna.

Idag använder Parans en manuell metod för att kalibrera sensorn, flytta den punkt på koordinatsystemet som ljuset fokuserar ner till, genom att vrida solpanelen med hjälp av en terminalemulator och sedan kontrollera värdet på en separat luxmätare.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att ta fram en helt automatisk process som kan kalibrera fotosensorn i Parans solpaneler, så att det maximala ljusflödet från panelen kan uppnås och detta med en lägre tidsåtgång och högre precision än dagens manuella metod. Vidare syftar projektet till att möjliggöra kommunikation mellan panelen och en luxmätare inne i byggnaden, så att kalibreringstekniken kan nyttjas till systemen generellt, oavsett om de är i produktion eller i fabrik.

1.3 Mål

Målet med det här projektet är att ta fram ett automatiskt system som justerar fokuspunkten på ljussensorn, vilket då vrider på solpanelen för att lokalisera det X- och Y-värde där intaget av solljus är som störst. Ljusstyrkan mäts med hjälp av en luxmätare som levererar ljusintaget till en dator eller till en annan programmerbar enhet. När det maximala ljusintaget är uppmätt, registreras X- och Y-värdena som den nya fokuspunkten för ljussensorn, istället för det förinställda värdet på origo. Vidare är målet att ta fram en form av kommunikation mellan en luxmätare inne i byggnaden och en panel som befinner sig på taket, så att även enheter som redan är satta i bruk kan kalibreras.

1.4 Frågeställning

- Vilken algoritm kan anses vara lämplig för kalibreringen?
- Vilka förutsättningar för kommunikation finns det mellan solpanelen och det upplysta rummet?
- Hur tillförlitligt är det valda kommunikationssättet?

1.5 Avgränsningar

1.5.1 Hårdvara

Redan existerande hårdvara kommer att användas, dvs. sådan avsedd att användas för de ändamål nödvändiga för projektet. Den primära hårdvaran, solpanel och luxmätare, kommer att tillhandahållas av uppdragsgivaren och inga alternativ till dessa kommer att undersökas. Eventuell övrig hårdvara kan antingen vara helhetslösningar eller sådana som löser delproblem och kombineras. Gällande lösningen som tas fram är den begränsad till att stödja företagets nu gällande panel SP3 och deras nästa version SP4.

1.5.2 Mjukvara

Mjukvara kommer att utvecklas för att nå projektets uppsatta mål. Denna kan komma att inkludera användning av båda medföljande och externa ramverk och bibliotek för att lösa olika delproblem, exempelvis grafisk framställning och kommunikation mellan olika enheter.

2 Metod

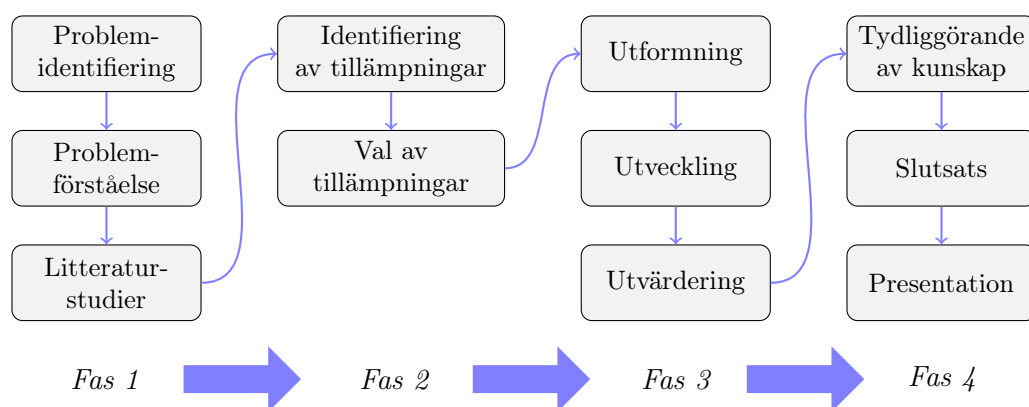
2.1 Vetenskaplig metod

Detta projekt har tillämpat en variant av den vetenskapliga metoden Design Science Research (DSR). Metoden anses lämplig till problemlösande forskning där redan existerande produkter ska vidareutvecklas [1]. Målet med DSR är att skapa artefakter, exempelvis en praktisk lösning, metod eller lösningsförslag, som löser de problem som identifierats inom projektet.

Design Science valdes då dess mål stämmer bra överens med det som projektet syftar till att göra. Detta kan sättas i kontrast med mer traditionella vetenskaper som snarare syftar till att utforska, förklara eller förutse fenomen [1, s. 13]. Att DSR valdes som metod över fallstudier eller 'action research' är återigen att målen överensstämmer med projektet, men även att typen av kunskap som anskaffas stämmer bättre överens än de andra två alternativen [1, s. 95].

Dresch et al. rekommenderar, baserat på studier av flera metoder för DSR, en metod i 12 steg [1, s. 118–126]. De tre inledande stegen är en analys av de problem som ska lösas, problemidentifiering, problemförståelse och litteraturstudier. Denna inledande fas mynnar ut i att hitta eventuella befintliga lösningar som kan vara lämpliga och att sedan föreslå en vidareutveckling och tillämpning av denna eller att föreslå en ny lösning. Steg sex till åtta är sedan att utforma, utveckla och utvärdera lösningen. Därefter ska den kunskap som givits av tidigare steg tydliggöras och slutsatser dras. Tidigare nämnda steg itereras vid behov för att uppnå önskat resultat. Slutligen ska generalisering av lösningen utformas och resultatet presenteras.

Ovan nämnda metodik har för detta projekt förenklats något för att anpassas till projektets storlek och omfattning. Metoden indelas i fyra faser, enligt figur 1, där fas 1–3 itereras efter behov.



Figur 1: Utformning av metod

2.2 Arbetsmetodik

Projektet arbetsmetodik utgick ifrån versionshanteringsverktyget 'git' för den mjukvara som projektet använde sig av. För att få tillgång till en central hantering av dokumenten använde sig projektet av 'GitHub.com' vilket även bistod med ett grafiskt gränssnitt till git, då git i sig själv endast har ett textbaserat gränssnitt.

Vidare var arbetsmetodiken inspirerad av 'Scrum' där större mål sattes upp och bröts ner till mindre så kallade 'issues' [2, kap. 8]. Dessa issues sattes upp på en virtuell tavla med hjälp av verktyget 'Waffle.io' för att få en bättre överblick kring hur projektet utvecklades och vad som behövde göras.

Anledningen till att inte hela Scrum-metodiken anammades var att projektet utfördes av få personer så den rollfördelning som hör till i Scrum gick ej att utföra på något meningsfullt vis [2, kap. 6], samt att ovanan vid denna typ av utveckling gjorde att kostnaderna för varje issue var svårt att bestämma. Vidare var projektets omfång väl avgränsat av uppdragsgivaren så de avgränsningarna användes som milstenar (inbyggd funktion i GitHub) istället för de föreslagna användarberättelserna [2, kap. 9].

3 Teknisk bakgrund

3.1 Parans SP3

SP3 är tredje generationens solpanel utvecklad av Parans [3]. Panelen monteras på utsidan av en byggnad, ofta på taket, och fokuserar solljus genom linser in i optisk fiber för att sedan genom armatur lysa upp inomhus. Varje panel har sex utgående kablar med fiberoptik, vardera ansluten till en armatur, vilkas räckvidd är upp till 20 meter. Panelen är utformad så att ultraviolett och infrarött ljus avskärmas från det ljus som leds in i fibern. Två stegmotorer används för att justera panelens riktning horisontellt och vertikalt, styrda av ett mikrokontrollerkort, så att linserna alltid är vända mot solen. Motorernas rörelser bestäms av en algoritm i mjukvaran som räknar ut solens nuvarande position med hjälp av att kombinera mätvärden från en ljussensor och solens förväntade position på himlen baserat på tid, datum och installationsplatsens geografiska position angivet i longitud och latitud. Mjukvaran som körs på mikrokontrollern är skriven i C.

3.1.1 Mikrokontrollerkortet

Mikrokontrollerkortet som används i panelen är formgivet av Parans och är baserat på en PIC32 mikrokontroller. PIC32 är en kategori mikrokontroller tillverkade av Microchip Technology för användning i inbyggda system och ger tillgång till bland annat flera I/O-anslutningar och UART för seriell kommunikation [4, s. 42–44]. För att kommunicera med mikrokontrollerkortet med en dator finns en USB-port som ger en seriell anslutning som hanteras av en UART-krets från Silicon Laboratories, CP2102. Detta kräver att den anslutna datorn har en drivrutin för CP2102 installerad och möjliggör anslutning via en terminalemulator för installation, diagnostik och underhåll.

3.1.2 Fiberoptik

Den fiberoptiska kabel som i dagsläget används av Parans är en plastfiber som har en ljusöverföring om 96% per meter och saluförs i fyra olika längder, 5, 10, 15 och 20 meter [5]. Var kabel består av sex stycken fibrer och ger ett ljusflöde om 730 lm till 430 lm beroende på längd av kablagen. Vid fibrernas paneländar finns IR-speglar monterade som reflekterar den infraröda delen av solljuset och de används för att fibern annars riskerar att smälta.

3.1.3 Ljussensor

För att optimera ljusintaget i panelens fibrer, finjusteras vinkeln till solen med hjälp av en ljussensor monterad på panelens front. Via en lins fokuseras ljuset ner till en punkt på sensorn, som skyddas av ett gråfilter för att dämpa värmeutvecklingen i fokuspunkten. Själva ljussensorn är tillverkad av Hamamatsu och sitter integrerad på en egendesignat mönsterkort. Det exakta databladet har ej kunnat lokaliseras för

den använda sensorn, men den kan antas arbeta efter samma princip som sensorerna S5990-01 och S5991-01 [6], enligt den information som finns inom Parans.

4 Genomförande

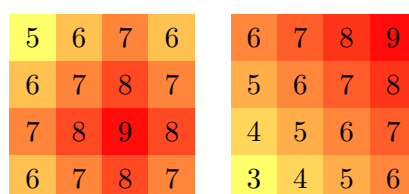
4.1 Steg 1

Projektet genomfördes med stöd av den valda metoden. I problemidentifikationsfasen, fas ett, hölls möten med uppdragsgivaren i syfte att få en enhällig uppfattning om vad företaget efterfrågade och formaliserade det praktiska problem som företaget sökte en lösning till. Vidare är det även i den här fasen som introduktionen till projektets rapport utvecklades för att fastslå vad projektet avser att utföra, som ett led i problemidentifieringen.

Den initiala problemanalysen resulterade i att projektet i stort kommer vara uppdelat i två mindre delar, dels den algoritm som klarar av att kalibrera panelen och dels en kommunikationslösning mellan panelen och rummet som den levererar ljuset till.

Förutsättningen vid litteraturstudien, gällande kommunikationen mellan taket och byggnadens innandöme, var att den trådlösa kommunikationen skall ske med standardiserade protokoll. Detta för att underlätta mottagandet av den trådlösa sändningen, i syfte att undvika tidssänken i felsökning då projektet har en relativt snäv tidsram.

För kalibreringsalgoritmens del bestod problemförståelsesteget av att undersöka vilka typer av datastrukturer som skulle komma att beröras. När problemet analyserades insågs att värdena som samlas in kan representeras som en tvådimensionell matris (eng. 'array'), där det finns ett unikt maxvärde och kring detta minskande värden som blir lägre ju längre från maxvärdet de befinner sig, se figur2.



Figur 2: Exempel på förväntade matriser

4.2 Steg 2

Litteraturstudien resulterade i en förståelse att trådlösa standarder för datakommunikation så som 802.11 standarderna har problem att sända när betongkonstruktioner hindrar utspridningen av radiovågorna och kräver speciell apparatur för att klara av att skicka data igenom sådana förhållanden [7]. Detta medför att trådlös kommunikation inte är lämplig för företaget, då de på förhand inte kan veta ifall deras kommunikation kommer att fungera på plats hos deras kunder.

Ett lämpligare medium att kommunicera via är istället de fiberoptiska kablar som redan är dragna, då rummet lysas upp av just dessa kablar. Enligt företaget kommer det finnas mer än en fiberkabel dragen till varje rum, vilket öppnar upp för möjligheten att koppla in apparatur för kommunikation i en fiberkabel, medan den eller de andra kablarna kan fortsätta hämta in ljus till rummet. Med de svårigheter som den trådlösa kommunikationen medförde i kombination med att ett fungerande alternativt medium redan finns draget, valde projektet att fokusera på det senare. Då panelens fiberändar har ett reflekterande skydd mot infrarött ljus, enligt 3.1.2, så måste kommunikationen över fiberkabeln ske med synligt ljus.

Gällande kalibreringsalgoritmen framstod det vid datorkörningar att en algoritm som itererar över hela matrisen för att leta det högsta värdet kommer att vara väldigt ineffektiv. Ett beslut fattades om att utveckla en algoritm som kräver så få steg som möjligt, detta då den praktiska implementationen kommer att innebära fördröjningssteg vid två punkter i körningen, dels när panelen flyttar på sig, och dels när ljuset ska hämtas in från luxmätaren. Algoritmen ska kontinuerligt söka efter ett högre värde tills det maximala värdet är funnet, likt figur 2.

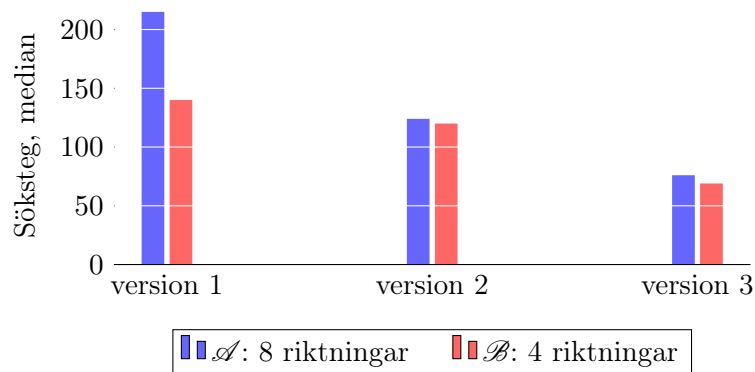
INSERT MORE TEXT ABOUT ALGORITHM HERE

4.3 Steg 3

Genom att fokusera på det optiska alternativet leder detta in projektet till det tredje steget i metoden, att föreslå en artefakt som löser det ställda problemet. Projektet föreslår då en lösning med en omvandlare från luxmätarens utdata till en optisk signal som sänds upp till taket för att där avkodas. Omvandlaren kan vara någon form av mikrokontroller så som till exempel en Arduino. Uppe på taken kan avkodaren även vara en mikrokontroller, eller om det finns någon typ av ljussensor som direkt kan skicka sin data över USB till den programmerbara enhet som utför den algoritm som utvecklats.

Utformningen av algoritmen skedde genom flera iterationer av steg 3 i den valda metoden. I den första iterationen utvecklades en sökalgoritm, algoritm \mathcal{A} , som inledningsvis genomsöker en 3×3 -matris i syfte att finna en inledande sökriktning. Därefter genomförs sökning medurs i åtta riktningar med utgångsriktning motsvarande österut. När ett större värde påträffas uppdateras nuvarande position och sökningen återupprepas. För jämförelse utvecklades även en variant med fyra sökriktningar, algoritm \mathcal{B} . Efterkommande iterationer var samtliga en vidareutveckling av den förra. Den andra iteration vidareutvecklade algoritmen så att den lagrar information om tidigare besökta koordinater, så att dessa ej undersöks vid upprepade tillfällen. Ytterligare förbättringar implementerades i den tredje iterationen, då riktningen på den senaste förflyttningen, då ett nytt större värde påträffats, registreras. Med hjälp av denna information undersöks först samma riktning som den senast lyckade förflyttningen innan medurs sökning. Här slopades också den inledande sökningen i 3×3

matris, då den inte kunde påvisas ha några märkbara fördelar. Samtliga iterationer innebar märkbara förbättringar vid simulering. Den slutgiltiga algoritmen arbetar enligt det flödesschema som finns presenterad i bilaga B.



Figur 3: Jämförelse algoritmernas antal söksteg

För att jämföra sökalgoritmer genomfördes simuleringar för att mäta det antal steg som behövs för att ta sig från utgångspositionen till den position där det maximala värdet påträffades. Simuleringarna använde sig av 10000 100x100-matriser där varje matris hade slumpvist genererad utgångsposition och maximalt värde. Algoritmerna har alltså alla genomsökt samma matriser med samma utgångspositioner. Samtliga positioners värden var strängt avtagande i hänseende till avståndet från det maximala värdet. För varje iteration av algoritmen undersöktes sökning med både fyra och åtta sökriktningar. Sökning i fyra riktningar visade sig mer effektivt i samtliga fall, enligt figur 3 och bilaga A. Skillnaderna i antal steg mellan samma algoritm med olika antal sökriktningar vara störst i den första iterationen, med 54 % fler steg, men de visade sig även i övriga iterationer. I den tredje och slutgiltiga iterationen var skillnaden 10 % fler steg. Varje iteration av algoritmen minskade det antal steg som behövdes för att finna det största värdet. Största förändringen mellan iterationer skedde mellan iteration två och tre, där antalet steg minskades med 43 %, se tabell 1. Minskningen mellan iteration ett och tre var 51 %.

Från	Till version 2	Till version 3
Version 1	14 %	51 %
Version 2	-	43 %

Baserat på medianvärden, se bilaga A

Tabell 1: Minskning av antal steg mellan varje version

5 Resultat

5.1 Algoritm

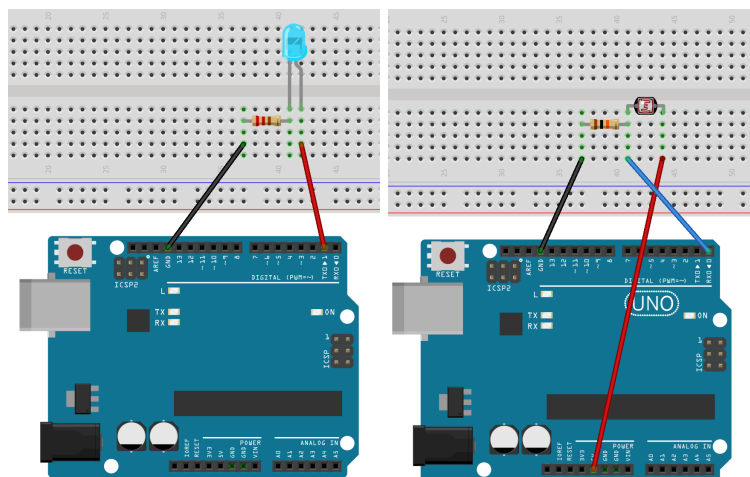
5.2 Optisk kommunikation

Kommunikationen mellan det upplysta rummet och solpanelen på taket kan upprättas med hjälp av två mikrokontroller, en för sändning av data och en för mottagande.

Den lösning som detta projekt presenterar består mikrokontrollerkortet av Arduino Uno revision 3 (för fullständig specifikation se bilaga C.1).[8] Till sändaren kopplas en lysdiod till det gränssnitt som skickar data via den seriella standarden, vilket då omvandlar från RS-232 standardens höga- och låga läge, till ljus på och ljus av. Till mottagaren kopplas en fotoresistor, en resistor som ändrar motståndet när den träffas av ljus, vilket gör att när den kopplas in till det seriella gränssnittet skapar resistorn spänningsförändringar som registreras som högt eller lågt värde av standarden.

För att möjliggöra överföringen används den i förhållandevis låga överföringshastigheten om 300 baud, vilket gör att komponenterna (fotoresistorn och lysdioden), hinner ändra sina värden under den tid de förväntas göra det på, då dessa komponenter inte är särskilt utformade för denna uppgift och innehåller vissa fördröjningar vid skifte av tillstånd.

Den data som avses skickas i denna kommunikation består av ett 16 bitars värde, det vill säga två byte. Med en överföringshastighet om 300 baud ger det en teoretisk möjlighet att skicka $\frac{300 \text{ baud}}{8 \text{ bit} \cdot 2} = 18,75$ värden per sekund. Den faktiska hastigheten blir något lägre då extra bitar skickas enligt RS-232 protokollet, men överföringshastigheten är inte att anses som ett hinder i denna implementation.



Figur 4: Schema över sändare/mottagare

6 Diskussion

Projektet kan anses ha två huvudsakliga syften, där det första är att ”ta fram en helt automatisk process som kan kalibrera fotosensorn i Parans solpaneler [. . .] med en lägre tidsåtgång och högre precision än dagens manuella metod”. Den metod som bolaget tidigare använde sig av var dels baserad på manuell inmatning av värden, vilket tar tid och kan leda till fel på grund av den mänskliga faktorn, och dels på en manuell uppskattning av ljusstyrkan vilket också kan leda till en felaktig kalibrering. Med hjälp av den algoritm som projektet har utvecklat och redovisat, i samverkan med den tekniska implementationen, anser författarna att detta syfte är uppnått. Processen kan skötas helt automatiskt så till vida att ljusflödet ut från panelen kan uppmätas. Denna automatiserade kalibrering är att anse som tidsbesparande då inga värden behöver anges manuellt, särskilt då skillnaden mellan sensors ursprungliga värde och det optimala inställningsvärdet och är stort så att många kalibreringssteg behöver göras. Den framtagna algoritmen är generell i det avseende att den inte är begränsad till användning för SP3-panelen utan bör även kunna användas för andra liknande produkter, såsom bolagets efterföljande modell SP4.

Gällande bestämningen av ljusintensiteten finns det både för- och nackdelar med att göra en uppmätning av ljusstyrkan och en mänsklig uppskattning. fördelarna med en automatiserad inläsning är att kalibreringen blir standardiserad och inte behöver bero på den person som utför kalibreringen. När författarna deltog i en manuell kalibrering av installerade paneler ute i produktion upplevde vi att ljusintensiteten varierar väldigt mycket och med tanke på att det mänskliga ögats anpassning till olika ljusintensiteter varierar beroende på om ljusintensiteten ökar eller minskar kan kalibreringen tappa i precision vid en manuell bedömning [9, s. 273]. Det är svårt att jämföra hur två inställningar förhåller sig till varandra, vilken som är starkare eller svagare, om ljuskällan blivit väldigt mörk mellan de båda tillfällena. Det ska dock påpekas att en rent mekanisk bedömning har sina brister då ”[d]et är i det närmaste omöjligt att planera ljusmiljö [. . .] enbart med hjälp av fysikaliska mätningar” men det påpekas också i litteraturen att det krävs erfarenhet för att kunna göra lämpliga bedömningar [9, s. 278]. Personer med den erfarenheten finns sällan att tillgå för bolaget vid installationstillfället då installation i regel sker av lokalt anlitade tekniker. En analys av förväntad ljusmiljö är något som sker innan installation, ofta i diskussion med bolaget och arkitekter, så det bör vara utrett på förhand. Oavsett den mån installatören skulle kunna bedöma detta så finns vanligtvis inte möjlighet för denna att befinna sig i rummet dit ljuset leder då teknikern befinner sig vid panelen för att sköta kalibreringen. Detta leder då antingen till att teknikern behöver gå emellan panelen och det upplysta rummet, något som är väldigt tidsödande, eller att det krävs två personer för att utföra kalibreringen, en som sköter inmatningen till panelen och en som rapporterar ljusstyrkan. Sammantaget är vår bedömning att en uppmätning av ljusstyrkan är den mest lämpliga metoden då det sparar tid vid kalibreringen och resultatet blir oberoende av operatörers erfarenhet och uppskattning gällande bedömning av ljusintensitet.

Referenser

- [1] A. Dresch, D. P. Lacerda och J. A. V. Antunes. *Design science research: a method for science and technology advancement*. Springer Verlag, 2015. ISBN: 3319073737; 9783319073736.
- [2] C. Sims och H. L. Johnson. *The elements of Scrum*. English. Foster City, Calif.: Dymaxicon, 2011. ISBN: 0982866917; 9780982866917.
- [3] *Parans Installation manual SP3*. 2013/06. Parans Solar Lighting AB. 2013. URL: <http://parans.com/eng/customerservice/documents/ParansInstallationManual.pdf> (hämtad 2015-03-27).
- [4] D. Ibrahim. "Chapter 2 - PIC32 Microcontroller Series". I: *Designing Embedded Systems with 32-bit PIC Microcontrollers and MikroC*. Utg. av D. Ibrahim. Oxford: Newnes, 2014, s. 41–90. ISBN: 978-0-08-097786-7. DOI: 10.1016/B978-0-08-097786-7.00002-6. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080977867000026>.
- [5] *Product Specifications*. Parans Solar Lighting AB. 2015. URL: http://www.parans.com/eng/customerservice/documents/ParansProductSpecifications_web.pdf (hämtad 2015-03-30).
- [6] *Two-dimensional PSD*. Hamamatsu Photonics K.K. 2013. URL: http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/s5990-01_etc_kpsd1010e.pdf (hämtad 2015-03-31).
- [7] S. Mizushina och A. Adachi. "A technique for wireless LAN connection through building concrete wall at 2.4GHz". I: *Microwave Symposium Digest (MTT), 2010 IEEE MTT-S International*. Maj 2010, s. 260–263. DOI: 10.1109/MWSYM.2010.5514751.
- [8] *Arduino Uno*. Arduino. 2015. URL: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> (hämtad 2015-05-05).
- [9] M. Bohgard. *Arbete och teknik på människans villkor*. Swedish. Upplaga 2. Stockholm: Prevent, 2011. ISBN: 9173651109; 9789173651103.

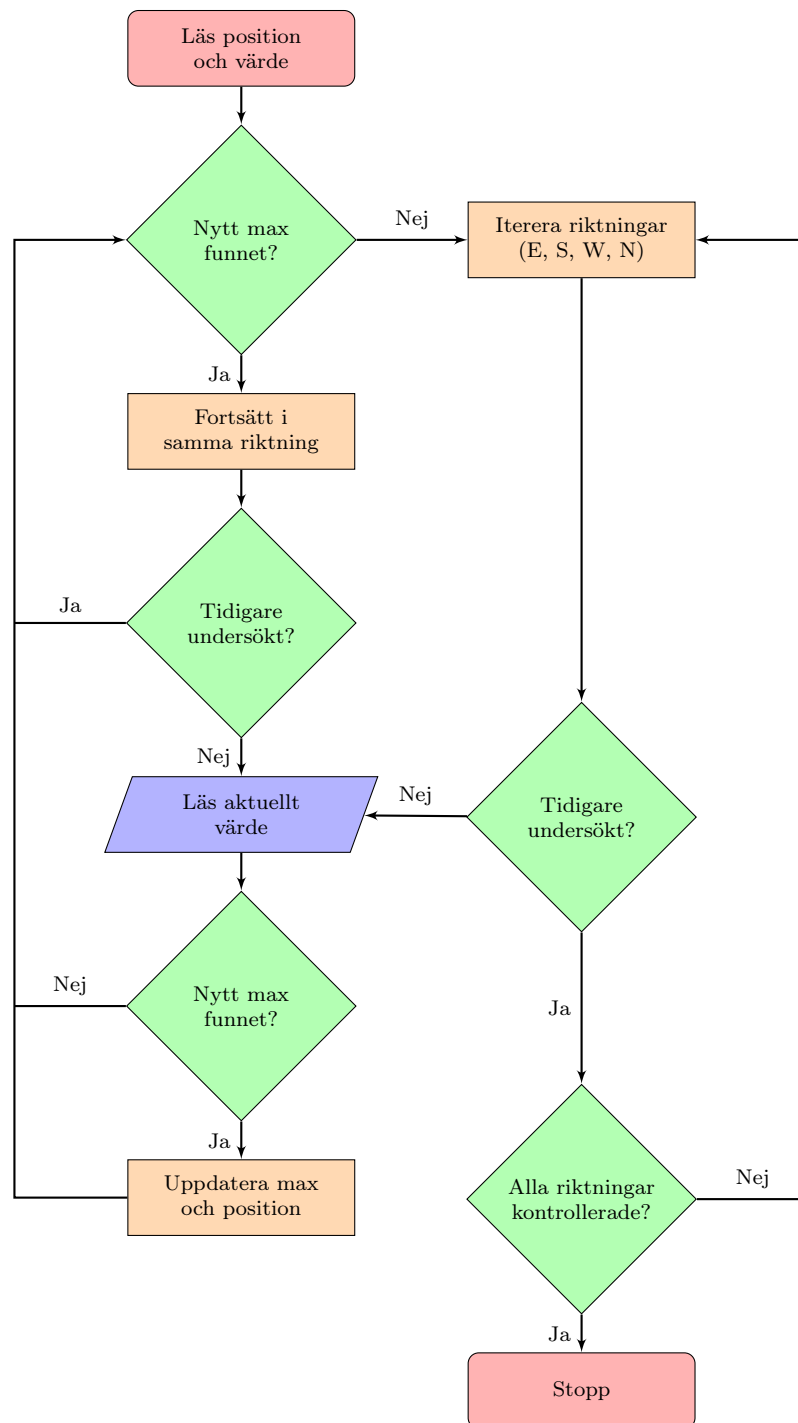
Bilagor

A Simuleringsresultat av kalibreringsalgoritm

Steg	\mathcal{A} : 8 riktningar			\mathcal{B} : 4 riktningar		
	v.1	v.2	v3	v.1	v.2	v3
Medel	255,7	134,2	78,8	160,2	130,5	72,0
Median	215	124	76	140	120	69
Max	1065	450	195	621	448	186
Min	1	7	9	1	4	5
σ	176.3	73,5	33,1	101,1	73.4	32,9

Varje version implementerar ny funktionalitet:
1. Söker medurs i åtta alternativt fyra riktningar.
2. Testa ej redan kontrollerade koordinater.
3. Testa först den riktning som senast lyckad förflyttning.

B Flödesschema av kalibreringsalgoritmen



C Specifikationer

C.1 Arduino

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g