



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Tifo-pinne, en prototyp för projicering av text och bilder i luften

Kandidatarbete inom Data- och Informationsteknik

HENRIK FAHLGREN, PATRIK HAAR, ALBIN HESSLERYD,
JESPER IVARSSON, VANESSA VANNAS

Denna sida har avsiktligt lämnats tom.

Abstract

This report documents and discusses the design process of a prototype (Tifo-stick). The Tifo-stick projects text and images in the air through a pendulum motion at a sufficiently high frequency. It can be used as an environmentally friendly and safer alternative to pyrotechnics at public general arrangements.

The construction work was carried out in subgroups focused on hardware and software. The work was divided into three prototypes with the ultimate goal to have constructed a final prototype that is portable, has sufficient battery life and sufficient visibility to be used on a football grandstand during a match.

In addition to construction work, field studies was performed regarding the battery life of the Tifo-stick as well as its performance in terms of visibility in different lighting conditions. The results show that the Tifo-stick is a possible alternative to pyrotechnics, but it can not handle the whole list of demands. The Tifo-stick has sufficient battery life but not enough performance in normal lighting conditions. The possibility of using the method of energy harvesting to recharge or power the prototype was investigated but with today's technology it proved to be an inadequate option.

Sammanfattning

I den här rapporten dokumenteras och diskuteras konstruktionsarbetet av en Tifo-pinne. Tifo-pinne är en prototyp som projicerar text och bilder i luften vid en pendelrörelse med tillräckligt hög frekvens. Den kan användas som ett miljövänligare och säkrare alternativ till pyroteknik vid publika arrangemang.

Konstruktionsarbetet genomfördes i delgrupper inriktade på hårdvara respektive mjukvara. Arbetet delades upp i tre prototyper med slutmålet att konstruera en slutgiltig prototyp som är portabel, har tillräcklig batteritid samt är tillräckligt synlig för att kunna användas på en fotbollsläktare under pågående match.

Förutom konstruktionsarbetet har fältstudier av batterilivslängd samt prototypens prestanda gällande synlighet vid olika ljusförhållanden utförts. Resultatet visar att Tifo-pinnen är ett möjligt alternativ till pyroteknik men den klarar inte av satt kravspecifikation helt och hållet. Tifo-pinnen har tillräcklig batterilivslängd men inte tillräcklig prestanda i normala ljusförhållanden. Möjligheten att använda energikördning för att ladda eller driva prototypen undersöktes men visade sig med dagens teknik vara ett otillräckligt alternativ.

Tacksägelser

Vi skulle först och främst vilja rikta ett stort och varmt tack till vår handledare Lars Svensson på institutionen för Data- och Informationsteknik på Chalmers tekniska högskola för all hjälp, återkoppling, kritik och vägledning som vi fått under projektets gång.

Ett tack riktas även till Marcus Arvidsson, Alexander Davidsson, Felix Mannerhagen och Torbjörn Rasmusson för hjälp och vägledning vid framställning av hårdvara.

Vi vill tacka Lars Norén för hjälp med beställningar av komponenter och sist men inte minst Alexander Davidsson, Anton Landberg, Christoffer Olsson och Felix Mannerhagen för hjälp med korrekturläsning av rapporten.

Innehåll

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Inledning | 3 |
| 1.1 | Projektets mål | 4 |
| 1.2 | Avgränsningar | 5 |
| 1.3 | Syfte | 5 |
| 2 | Teori | 6 |
| 2.1 | Ögats funktion samt uppfattning av ljus | 6 |
| 2.2 | Energiskördning | 6 |
| 2.3 | Teknisk beskrivning | 7 |
| 2.3.1 | Altium Designer | 7 |
| 2.3.2 | ARM-processorn | 7 |
| 2.3.3 | Kommunikationssystem | 7 |
| 2.3.4 | Code Composer Studio | 7 |
| 3 | Konstruktion | 8 |
| 3.1 | Första skiss | 8 |
| 3.2 | Klassdiagram och kodskelett | 10 |
| 3.3 | Övergripande komponentbeskrivning | 11 |
| 3.4 | Utvecklingskort och mikrokontroller | 12 |
| 3.4.1 | Test med utvecklingskort utan accelerometer | 12 |
| 3.5 | Accelerometrar | 13 |
| 3.5.1 | Beräkningar av accelerationskraften i pendelrörelsen | 13 |
| 3.5.2 | Beställning av expansionskort | 14 |
| 3.5.3 | Gränssnitt för bildbyte | 14 |
| 3.6 | Tillvägagångssätt för bestämning av lysdioder | 15 |
| 3.6.1 | Test av lysdiodernas prestanda | 16 |
| 3.7 | Transistorer | 16 |
| 3.8 | Resistorer | 17 |
| 3.9 | Batterienhet | 17 |
| 3.10 | LED-drivare | 17 |
| 3.11 | Implementering i Altium Designer | 18 |
| 3.12 | Framställning av kretskort | 18 |
| 3.13 | Chassi | 19 |
| 4 | Resultat | 21 |
| 4.1 | Test av lysdiodernas prestanda | 21 |
| 4.1.1 | Positionsberäkning för noggrannare utritning | 22 |
| 4.2 | Test av batterilivslängd | 22 |
| 4.3 | Konstruktionsresultat | 23 |
| 5 | Diskussion | 24 |
| 5.1 | Risk- och miljöanalys av Tifo-pinnen | 24 |
| 5.2 | Patentläge | 24 |
| 5.3 | Utvärdering av avgränsningarna | 25 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.4 | Komponentdiskussion | 25 |
| 5.4.1 | Utvecklingskortets för- och nackdelar | 25 |
| 5.4.2 | Val av ARM-processorn samt andra alternativ | 25 |
| 5.4.3 | Olika seriella gränssnitt till olika komponenter | 25 |
| 5.4.4 | Expansionskortets för- och nackdelar | 26 |
| 5.4.5 | Lysdiodernas prestanda i förhållande till ögats funktion | 26 |
| 5.4.6 | LED-drivarens för- och nackdelar | 26 |
| 5.4.7 | Batterilivslängd | 27 |
| 5.4.8 | Möjligheter med energiskördning | 27 |
| 5.4.9 | Miljöaspekter | 28 |
| 5.5 | Konstruktionsprocess | 28 |
| 5.5.1 | Komponenternas temperaturintervall | 28 |
| 5.5.2 | För- och nackdelar med Altium Designer | 28 |
| 5.5.3 | För- och nackdelar för olika positionsberäkningar | 29 |
| 5.5.4 | Avdriftsproblem | 29 |
| 5.6 | Utvärdering av planering och konstruktionssätt | 30 |
| 6 | Slutsats och utvecklingsmöjligheter | 31 |
| | Appendices | I |
| | Bilaga A Kopplingstabell | I |
| | Bilaga B Tidsplanering | II |
| | Bilaga C Temperaturintervall | III |
| | Bilaga D Altiumdesign | IV |

Denna sida har avsiktligt lämnats tom.

Förkortningar

- API:** *Application Programming Interface*, en uppsättning av funktioner som tillhandahålls av tillverkaren för en given produkt.
- ARM:** *Advanced RISC Machine*, mikroprocessorarkitektur som är vanlig i inbyggda system.
- CCS:** *Code Composer Studio*, en utvecklingsmiljö baserad på Eclipse avsedd för produkter från Texas Instruments.
- ETA:** *E-sektionens Teletekniska Avdelning*, ett studentlett elektronikklubb och amatörradioklubb på Chalmers tekniska högskola.
- EPA:** *The U.S. Environmental Protection Agency*
- FIFA:** *Fédération Internationale de Football Association*
- Git:** Ett versionshanteringssystem baserat på fri mjukvara.
- GPIO:** *General Purpose Input Output*, ett interface för att skicka en etta, "hög", eller nolla, "låg", till en pinne på ett utvecklingskort.
- I/O:** *Input/Output*, in- och utgångar.
- I2C:** *Inter-Integrated Circuit*, ett protokoll som används för kommunikation mellan IC-kretsar och mikrokontroller för kretskort.
- PCB:** *Printed Circuit Board*, mönsterkort/kretskort.
- SPI:** *Serial Peripheral Interface*, ett gränssnitt för kommunikation mellan periferienheter.
- SSI:** *Synchronous Serial Interface*, en variant av SPI.
- SvFF:** *Svenska Fotbollsförbundet*
- UEFA:** *Union of European Football Associations*
- WEEEs:** *Waste from Electric and Electronic Equipments*, engelsk term för elektronikavfall.

Definitioner

Accelerometer:

Sensor/mätgivare som mäter mekanisk kraft. Förändring i hastighet (acceleration) sätts i förhållande till den elektriska signal som accelerometern genererar.

Agilt arbetssätt:

Ett arbetssätt som innebär att mindre delar, så kallade sprints, görs klart innan nästa del påbörjas.

Duplex:

En beteckning på kommunikation som kan ske åt två håll samtidigt. Halv duplex kan endast göra en sak i taget, skicka eller ta emot information. Motsatsen kallas simplex och betecknar envägs kommunikation.

Europakort:

En standard på laminatkort. Enkelt europakort är 160x100mm.

Gyroskop:

Sensor/mätgivare som mäter vinkelhastighet. Har ofta stöd för mätning av rotation runt flera axlar i samma komponent.

Periferienhet:

En enhet som är separerad relativt en mikrocontroller och hanterar en specifik funktion. Ett exempel på en periferienhet är tangentbordet som hanterar inmatningen till en dator.

Tifo:

Ordet Tifo kommer ursprungligen från italienskans tifosi som betyder fans eller supportrar. Ordet syftar på fansens hyllning till sitt lag från läktarplats där man tillsammans arrangerar ett event.

Utvecklingskort:

Kort som är designat av komponenttillverkare för att förenkla utvecklingsarbetet.

1 Inledning

Pyroteknik är en teknik som använder kemiska reaktioner för att producera ljus, ljud och värme. Det kan vara exempelvis fyrverkerier, sprängämnen och nödraketer. Pyroteknik är vanligt förekommande inom industrin, för militärt bruk och som supportertermaterial vid idrottsevenemang, i form av bengaliska eldar och dylikt [1]. Under fotbollsmatcher används pyroteknik i stora folkmassor på ett begränsat område vilket kan medföra säkerhetsrisker.

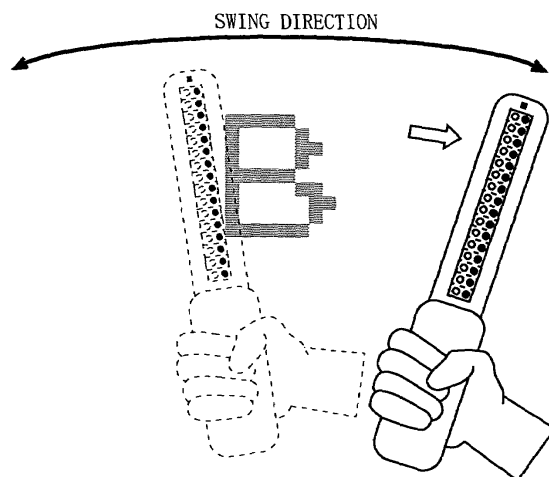
Enligt Lagen om brandfarliga och explosiva varor (LBE 2010:1011) ställs krav på aktsamhet, utredning och kompetens för hantering av pyroteknik [2]. Användande av pyroteknik under fotbollsmatcher kan innebära brott mot Ordningslagen (OL 1993:1617) då pyroteknik ej får användas utan tillstånd av polismyndighet vid risk för skada på person eller egendom [3], [4]. I Sverige är det *Svenska Fotbollsförbundet* (SvFF) som i nuläget reglerar användandet av pyroteknik vid fotbollsmatcher [5]. *Fédération Internationale de Football Association* (FIFA) och *Union of European Football Associations* (UEFA) förbjuder all användning av pyroteknik under fotbollsmatcher [6], [7].

I dagsläget blir miljöfrågan en allt större aspekt. Inom pyroteknik och fyrverkerier är det svårt att ta hänsyn till miljön. Förbränningen som sker inom området genererar luftföroreningar och fyrverkerier i synnerhet genererar restprodukter som blir svåra att ta hand om [8],[9]. Ett extremfall av miljöpåverkan i samband med fyrverkerier är det kinesiska nyåret där det 2013 under en sjudagarsperiod producerades 5505 t skräp från smällare och fyrverkerier bara i Beijing [8]. Firandet ledde till en stor ökning av föroreningar i luften. Vid 01:00 under nyårsnatten 2012 uppmättes $1593 \mu\text{g m}^{-3}$ föroreningar i luften vid Chegongzhuangs luftövervakningsstation i Beijing. Enligt *The U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) som mäter luftföroreningar i $PM_{2.5}$ [9] är det ohälsosamt om värdena mäter högre än $65.5 \mu\text{g m}^{-3}$ [8].

Elektronikskräp (WEEEs) är den form av skräp som ökar mest från år till år [10]. I samband med att tekniken blir allt mer komplicerad ökar även svårigheterna med korrekt återvinning. Varje år deponeras 30 till 50 miljoner ton elektronikskräp globalt och siffran ökar med 3 till 5 procent varje år [10]. Svårigheterna med att återvinna elektronik är många. Elektronikskräpets återvinningsprocess är primitiv och tar ofta inte hänsyn till miljö eller hälsa. Skräpet doppas i syrabad för att frigöra metaller som sedan kan återvinnas. Komponenter avlägsnas genom upphettning i koldrivna ugnar. Plast smälts ned utan ordentlig ventilation och obrukbart material tas ofta inte om hand, utan utsöndras i vattendrag och på åkrar [11].

För att minska risker, kostnad och miljöpåverkan med användandet av pyroteknik behövs andra, mer attraktiva alternativ. De kan även bli aktuella vid ett totalförbud mot användande av pyroteknik vid stora publika arrangemang. Ett alternativ till den traditionella nödfacklan skulle kunna vara en Tifo-pinne som genom på- och avstängning av lysdioder kan rita meddelanden i luften.

Ett flertal etablerade patent finns inom området projicering av bilder i luften. Patenten berör prototyper med lysdioder som genom handkraft förs i en pendelrörelse. Ett av de aktiva patenten kommer från företaget Nintendo [12]. En bild från patentet visas i Figur 1.



Figur 1: Bild från patentet US7030420 [12] av Nintendo. Då prototypen förs fram och tillbaka tänds lysdioder för att bilda text och figurer i luften. Prototypen har två rader av lysdioder, en med gröna dioder och en med röda. Lysdioderna kan lysa i olika styrkor för att skapa olika nyanser av färger.

1.1 Projektets mål

Målet för projektet var att ta fram en fungerande Tifo-pinne. För att uppnå målet gjordes tre olika prototyper.

Till Prototyp 1 var målet att få fram en utvecklingsplattform där mjukvaran kunde designas. Här behövdes ingen användarvänlighet eller estetiskt tilltalande utseende. Tanken var att med hjälp av en accelerometer bestämma positionen för utritningen av bilder.

Till Prototyp 2 var målet att förbättra funktionerna från Prototyp 1. Antalet komponenter behövde reduceras för att minska den fysiska storleken på prototypen. Användarvänligheten behövde ökas och prototypen konstrueras som en handhållen enhet. Slutligen skulle prototypen ha en integrerad strömkälla och göras oberoende av nätspänning från vägguttag.

Till Prototyp 3 skulle en slutgiltig prototyp designas med ett estetiskt tilltalande chassi. Prototyp 3 skulle kunna användas under en fotbollsmatch på 90 minuter och de projicerade meddelandena skulle kunna avläsas på 90 meters avstånd. Möjligheten att använda energisäckordning skulle undersökas och om möjligt utarbetas till Prototyp 3.

1.2 Avgränsningar

Den avgränsning som valdes för projektet var att Tifo-pinnen skulle ha få gränssnitt mot omvärlden. Gränssnitt som Bluetooth eller Wi-Fi skulle inte implementeras då USB var tillräckligt för uppgiften. Tifo-pinnen skulle ej innefatta något särskilt användargränssnitt som pekskärm eller dylikt. Programmering av meddelanden skulle ske via befintligt USB-gränssnitt på ett utvecklingskort. Tifo-pinnen skulle använda enfärgade lysdioder för att visa text.

1.3 Syfte

Syftet med projektet var att designa en Tifo-pinne som kunde programmeras till att rita synliga ord och bilder i luften vid en pendelrörelse i tillräckligt hög frekvens. Ett användningsområde för Tifo-pinnen kunde exempelvis vara på en fotbollsarena istället för en vanlig bengal för att minimera skaderisken.

2 Teori

I det här avsnittet ges en bakgrund kring hur det mänskliga ögat uppfattar ljus och hur modern teknik kan användas för att ta till vara på spillenergi. En bakgrund ges även kring de tekniker som används i projektet.

2.1 Ögats funktion samt uppfattning av ljus

Ibland kan ljus upplevas som kvardröjande vid snabba rörelser. På samma sätt kan ljuset upplevas som konstant vid blinkning i hög frekvens. Orsaken är att ögat avrundar det uppfattade ljuset över en kort tid. Observationer visar att den tiden varierar beroende på ljusets färg och position i ögats synfält. I sin bok visar A. C. Hardy [13] hur länge efterbilden av de olika färgerna varar. Tiden är kortast för gul-grönt ljus med upp till 34 ms. Blå-violett ljus har en maximal tid på upp till 40 ms. Längst tid ger rött ljus med upp till 109 ms. För att uppnå ett konstant eller kvardröjande ljus är därmed rött ljus mest lämpligt [13].

2.2 Energiskördning

Energiskördning (Eng: Energy harvesting) är ett sätt att ta tillvara på spillenergi från omgivningen och generera energi. Det är ett forskningsområde som ökat i intresse och som kan ersätta andra sätt att strömsätta elektronik då energiskördning möjliggör batterifri elektronik [14], [15]. Möjliga källor för energiskördning är bland andra vibrationer, solenergi, vindenergi, kinetisk energi och lägesenergi [14]. En vanlig metod är piezoelektrisk energiskördning som använder energi från vibrationer samt mekanisk rörelse och omvandlar till elektrisk energi [16], [17]. En studie visar att kinetisk elektrodynamisk energiskördning, där systemet använder 100 mg acceleration för att driva en effektsensor i en bil, utvinner 10 mW [18].

Kinetisk energi kan även användas för att skörda energi från vardaglig teknik med hjälp av mänsklig aktivitet [19]. Enligt G. Bassani et al. [20] kan en uteffekt på $2.6 \mu\text{W}$ uppnås vid löpning [20]. En annan studie gjord av D. Berdy et al. [21] visar att elektromagnetisk vibration från mänsklig rörelse kan generera viss energi. Energiskördningen varierar beroende på deltagarnas kroppsstorlek som påverkar stegfrekvensen och därmed accelerationsfrekvensen. En lägre stegfrekvens genererade en lägre accelerationsfrekvens. I studien varierade deltagarnas hastighet från 3.2 km h^{-1} till 11.3 km h^{-1} . Vid 4.8 km h^{-1} genererades $71 \mu\text{W}$ och vid 9.7 km h^{-1} genererades $342 \mu\text{W}$ [21].

2.3 Teknisk beskrivning

I det här avsnittet ges en introduktion till PCB-design, utvecklingsmiljön för Texas Instruments produkter, datorarkitekturen som används på utvecklingskortet samt de kommunikationssystem som använts inom projektet.

2.3.1 Altium Designer

Altium Designer är ett program för design av PCB-kretsar och används för att egenhändigt ta fram elektriska kretsar [22]. Programmet stödjer utvecklingsprocessen av kretsar genom att upptäcka fel och assistera vid felsökning. Altium Designer används inom akademisk verksamhet vid elektronikstudier och simulering av elektriska kretsar. Andra användare finns även bland ingenjörer och elektronikindustrin [22].

2.3.2 ARM-processorn

Processorarkitekturen Advanced RISC Machine (ARM) är välkänd inom datortekniken. Den är vanlig i såväl mindre, inbyggda system som i större datorsystem [23]. ARM-arkitekturen är energisnål och lämpar sig därför till mindre projekt där energigång kan vara kritisk. ARM ger god prestanda och energieffektiviteten hos arkitekturen är hög. ARM har stöd för avbrott och stödjer programmering i C [24].

2.3.3 Kommunikationssystem

För att inbyggda system ska kunna kommunicera med kringliggande periferienheter krävs kommunikationsprotokoll. Ett sådant protokoll är Inter-Integrated Circuit (I2C) som jobbar i halv duplex. Serial Peripheral Interface (SPI) är ett annat kommunikationsprotokoll som till skillnad från I2C jobbar i full duplex. SPI-kommunikation är enklare att etablera och jobbar i högre hastighet än I2C men är i gengäld inte lika utbyggbart [25].

2.3.4 Code Composer Studio

Code Composer Studio (CCS) är det rekommenderade programmet att använda tillsammans med utvecklingskort från Texas Instruments. CCS är en modifierad version av den mer välkända utvecklingsmiljön Eclipse. Det ger en bra grund för programmering med tillagd kompatibilitet för inladdning av program till utvecklingskortet. CCS stödjer Windows och GNU/Linux.

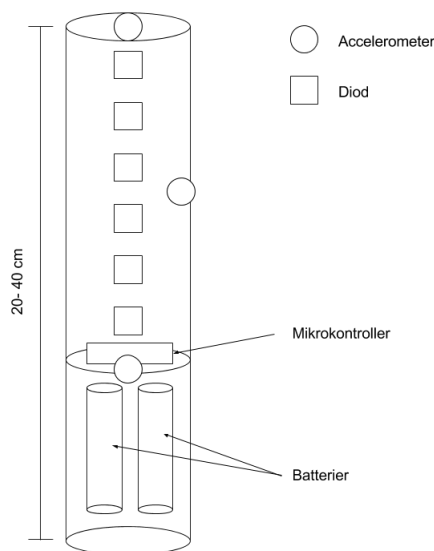
3 Konstruktion

I det här avsnittet redogörs för konstruktionen av projektets prototyper och dess mjukvara. Mjukvaran implementerades på ett agilt arbetssätt. Metoden ledde till att det alltid fanns en fungerande version som kunde användas för att testa hårdvaran. För att hantera källkoden under projektet användes Git för versionshantering. Utvecklingen skedde i Code Composer Studio (CCS). Programmeringsspråket som användes var C. All kod från projektet finns tillgänglig på Github:

<https://github.com/sa6blj/TIFO>

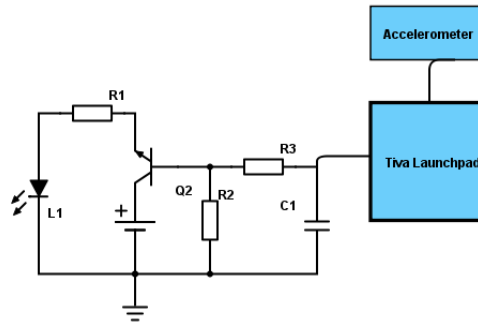
3.1 Första skiss

Arbetet för Prototyp 1 startade med att ta fram ett utkast till kretsschema. Den första skissen bestod av en överdel med potentiella platser för tre accelerometrar, diodkretsar samt en nederdel för spänningsskälla samt utvecklingskort. Designkravet för nederdelen var att den skulle vara tillräckligt smal för att kunna hållas med en hand. I Figur 2 visas designförslaget för Tifo-pinnens tänkta utformning.



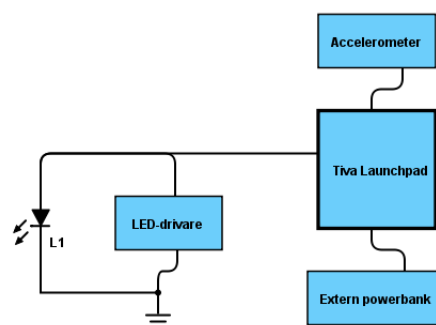
Figur 2: En bild av Tifo-pinnens tänkta slutliga utformning samt förslag till placering av komponenter. I bilden ges förslag på potentiella placeringar av tre stycken accelerometrar. Inga komponenter var bestämda vid framställningen av bilden. Av den anledningen visas batterienheten som två stycken batterier.

Figur 3 visar det första kretsförslaget för Prototyp 1 som bestod av en mikrokontroller som kopplats till accelerometerkretsarna samt diodkretsen. Kretsschemat förenklades utifrån riktlinjerna att alla lysdioder måste kunna tändas enskilt. Det innebär att en resistans (R3) samt kondensatorn (C1) i diodkretsen togs bort då de utifrån testerna visade sig vara överflödiga. Kretsen behövde ej stabiliseras som tidigare trott. I accelerometerkretsen lades däremot två kondensatorer till för att minska brus. Diodkretsen till Prototyp 1 bestod av två resistorer (R1 och R2), en transistor (Q2), en lysdiod (L1) samt en spänningskälla.



Figur 3: Kretsschema för lysdioderna till Prototyp 1. Kretsen innehåller en lysdiod, tre resistorer, en kondensator, en transistor och en spänningskälla.

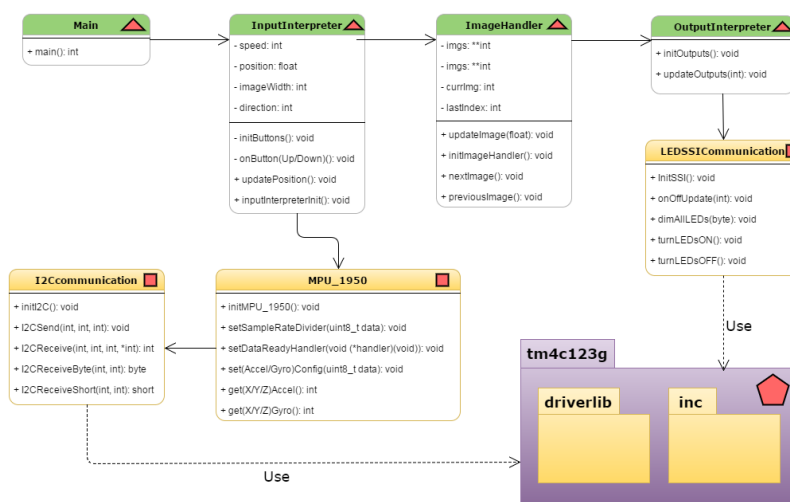
Den första skissen för Prototyp 2 bestod av en diodkrets med lysdiod och LED-drivare, en accelerometerkrets, en batterienhet samt ett utvecklingskort. I Figur 4 visas designförslaget för Prototyp 2 och i Bilaga D visas kretsen från arbetet i Altium Designer. Prototyp 3 bestod av samma komponenter som Prototyp 2 och använde därför dess schema.



Figur 4: Bild över utformning av Prototyp 2 samt förslag till placering av lysdiod och LED-drivare.

3.2 Klassdiagram och kodskelett

Det första mjukvaruarbetet innefattade konstruktion av ett klassdiagram och ett kodskelett. Klassdiagrammet konstruerades så att programmets funktioner bröts ned i lämpliga moduler som senare implementerades som olika klasser. Därefter konstruerades ett kodskelett med pseudokod. Kodskelettet följde klassdiagrammet och innehöll klasser för hantering av insignaler, bildhantering respektive utskrivning. Det första klassdiagrammet bestod av klasserna *Main*, *InputInterpreter*, *ImageHandler* och *OutputInterpreter* i det slutgiltiga klassdiagrammet som visas i Figur 5.



Figur 5: Det färdiga klassdiagrammet. *Main*, *InputInterpreter*, *ImageHandler* och *OutputInterpreter* representerar funktionen/logiken i programmet. *I2Ccommunication*, *LEDSSICommunication* och *MPU_1950* är hjälpklasser för att ge logiken tillgång till nödvändiga resurser. Mappen *tm4c123g* innehåller färdiga bibliotek för utvecklingskortets inbyggda funktioner.

Insignalerna hanterades i klassen *InputInterpreter* där de tolkades, en ny position beräknades och skickades till klassen *ImageHandler* som höll i den logiska representationen av den inlagda bilden. *ImageHandler* använde den nya positionen för att beräkna vilken del av bilden som skulle ritas ut och skickade delen till klassen *OutputInterpreter*. *OutputInterpreter* omvandlade det logiska värdet till vilka lysdioder som skulle tändas och aktiverade motsvarande utgångar på utvecklingskortet.

3.3 Övergripande komponentbeskrivning

De komponenter som behövdes till första prototypen valdes genom litteratursökning. Till Prototyp 1 bestämdes först vilken mikrokontroller som skulle användas. Utifrån det valdes utvecklingskort samt accelerometer. Övriga komponenter bestämdes enligt litteraturstudier, utvecklingskortets krav och för projektet satta krav. Testning av kretsschemat gjordes på kopplingsplatta med tillgängliga laborationskomponenter och från resultatet valdes liknande komponenter. Använda komponenter för Prototyp 1 redovisas i Tabell 1.

Till Prototyp 2 användes fler lysdioder för att öka skrivytan. För drivning av lysdioderna valdes LED-drivare. Den fysiska storleken hos LED-drivarna gjorde kretsen mindre än den för Prototyp 1. Accelerometerkretsen byttes ut till ett färdigt expansionskort. Även en extern batterikälla och en knappats tillsattes. Använda komponenter för Prototyp 2 redovisas i Tabell 2.

Till Prototyp 3 gjordes enbart ändringar i PCB-designen samt färg på lysdioderna. Använda komponenter för Prototyp 3 redovisas i Tabell 3.

Tabell 1: Listvy över använda komponenter till Prototyp 1.

| Beskrivning | Komponent | Antal |
|--------------------------|--|-------|
| Utvecklingskort | Tiva C Launchpad, TM4C123G, Texas Instruments [26], [27] | 1 |
| Accelerometer | STMicroelectronics LIS3DH MEMS, Digital [28] 3-axlig, $\pm 2 g$, $\pm 4 g$, $\pm 8 g$, $\pm 16 g$, 1.71 V, 3.6 V, LGA | 1 |
| Lysdiod | MULTICOMP OVA-1068 LED, Röd, 7.62 mm x 7.62 mm, 625 nm, 2.1 V, 30 mA, 400 mcd | 16 |
| Transistor | ON SEMICONDUCTOR BSS138LT3G MOSFET, N Kanal, 200 mA, 50 V, 5.6 Ω , 2.75 V, 500 mV | 16 |
| Resistor, hålmonterat | MULTICOMP MCF 0.5 W 15R, MCF serie, 15 Ω , 500 mW, $\pm 5 \%$, 350 V, Axiell | 16 |
| Resistor, hålmonterat | MULTICOMP MCF 0.25 W 4K7, MCF serie, 4.7 k Ω , 250 mW, $\pm 5 \%$, 250 V, Axiell | 16 |

Tabell 2: Listvy över använda komponenter till Prototyp 2.

| Beskrivning | Komponent | Antal |
|-----------------|---|-------|
| Utvecklingskort | Tiva C Launchpad, TM4C123G, Texas Instruments [26], [27] | 1 |
| LED-drivare | TLC5922DAPG4, Texas Instruments [29] | 2 |
| Expansionskort | MPU9150, Texas Instruments [30], [31] | 1 |
| Lysdiod | MULTICOMP OVA-1068 LED, Grön, 7.62 mm x 7.62 mm, 520 nm, 3.2 V, 30 mA, 540 mcd | 32 |
| Powerbank | TP-LINK Powerbank 10.4 A h 2 USB ports (5 V/1 A, 5 V/2 A), 1 Micro USB port | 1 |
| Knappats | 6-bitars switch | 1 |

Tabell 3: Listvy över använda komponenter till Prototyp 3.

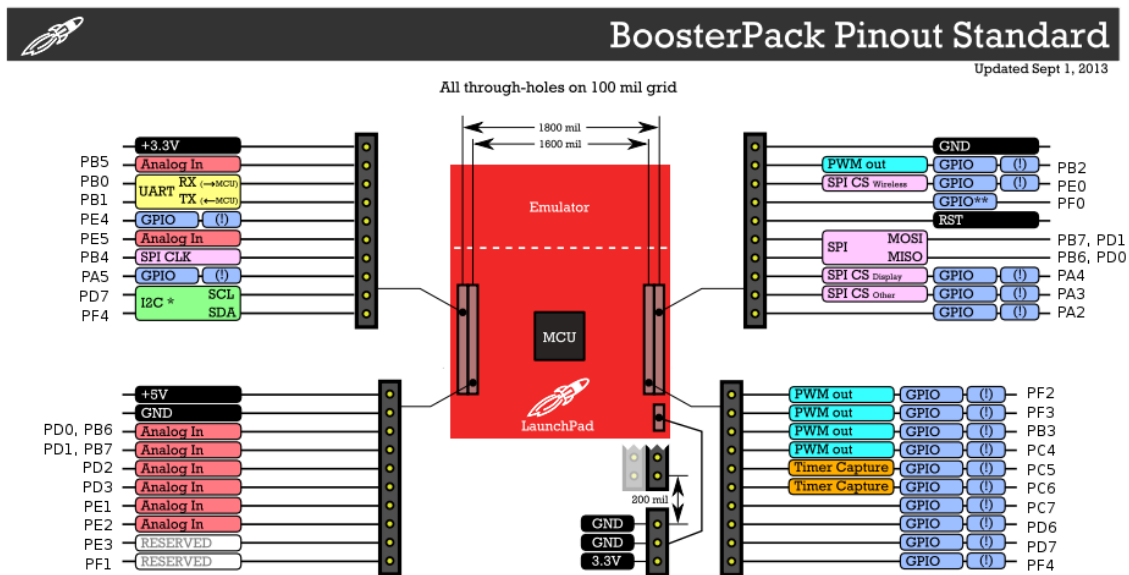
| Beskrivning | Komponent | Antal |
|-----------------|--|-------|
| Utvecklingskort | Tiva C Launchpad, TM4C123G, Texas Instruments [26], [27] | 1 |
| LED-drivare | TLC5922DAPG4, Texas Instruments [29] | 2 |
| Expansionskort | MPU9150, Texas Instruments [30], [31] | 1 |
| Lysdiod | MULTICOMP OVA-1068 LED, Röd, 7.62 mm x 7.62 mm, 540 nm, 3.2 V, 30 mA, 540 mcd | 32 |
| Powerbank | TP-LINK Powerbank 10.4 A h 2 USB ports (5 V/1 A, 5 V/2 A), 1 Micro USB port | 1 |

3.4 Utvecklingskort och mikrokontroller

Tifo-pinnen konstruerades med ett utvecklingskort med integrerad mikrokontroller då det var enkelt att använda färdiga utvecklingskort med rätt funktionalitet. Kraven var att utvecklingskortet behövde vara enkelt att använda samt att det skulle finnas bra dokumentation och datablad kring mikrokontrollern och utvecklingskortet. Valet föll på en Tiva C TM4C123G Launchpad med mikrokontrollern/ARM-processorn Tiva TM4C123GH6PMI [26], [27]. Den specifika processorn var energisnål, stödde programmering i C och erbjöd ett API med funktioner lämpliga för projektet.

3.4.1 Test med utvecklingskort utan accelerometer

Utvecklingskortet kopplades till ett antal dioder och med hjälp av ett medföljande program och schemat i Figur 6 kunde det studeras hur GPIO-portarna kontrollerades. Utvecklingskortet inkluderade bibliotek med exempelkod som, tillsammans med API till kortet, visade hur portar kunde initieras och användas av programmet. Koden skrevs därför parallellt med fördjupning i kortets API. En funktion skrevs för att simulera en rörelse och testa övriga funktioner utan en implementerad accelerometer. Med funktionaliteten för programmet implementerad behövde den logiska bilden i programmet konverteras. Konverteringen var nödvändig för att tända rätt utgångar.



Figur 6: Bild av in- och utgångar hos TM4C123G Launchpad [32]. Numrering av pinnar gjorda av författarna. CC-BY-SA.

3.5 Accelerometrar

Tre accelerometrar valdes till första skissen då de antogs behövas för en noggrann utritning. Efter litteraturstudier fanns två accelerometrar kvar, en accelerometer på var kortsida om diodraden. Ursprungligen skrevs enbart kod för en accelerometer men det bedömdes som nödvändigt att sätta in två stycken då det eventuellt skulle behövas. Accelerometrarna skulle sättas på ett enskilt kort då de var problematiska att montera för hand. Accelerometrarna använde kommunikationsprotokollet I2C.

3.5.1 Beräkningar av accelerationskraften i pendelrörelsen

Det fanns en osäkerhet kring hur hög accelerationskraft Tifo-pinnen kunde uppnå och därför behövde en G-kraftsberäkning göras. Periodtiden togs fram genom att vifta med utsträckt arm i en pendelrörelse under 10s och räkna antalet perioder, vilket blev 24 stycken. För enkelhetens skull avrundades värdet till 20 stycken då Tifo-pinnens vikt borde medföra något minskad periodantal. Beräkningarna medförde en periodtid på 0.5s. För att beräkna pendelrörelsens sträcka behövde längden på armen och pinnen vara känd. Försökspersonens arm var cirka 70 cm lång och Tifo-pinnen uppskattades vara 20 till 40 cm lång. Totallängden uppskattades till 1 m. Färdsträckan berodde på hur bred pendelrörelsen var och uppskattades till cirka 90° eller $\frac{\pi}{2}$ radianer. Då radien var 1 m blev sträckan $\frac{\pi}{2}$ m. Medelhastigheten från en vändpunkt till det andra var sträckan dividerat på tiden för en halv period, vilket visas i Ekvation 1.

$$\Delta v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0.5\pi}{0.25} = 2\pi \approx 6 \text{ m s}^{-1} \quad (1)$$

Då hänsyn behövde tas för inbromsning till tidigare hastighet och att medelhastigheten uppnåddes i mitten av sträckan gjordes beräkningar med en förändringshastighet på 4 m s^{-1} samt en förändringstid på 0.25 s utifrån Ekvation 2.

$$\Delta a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4\pi}{0.25} = 16\pi \approx 50 \text{ m s}^{-2} \quad (2)$$

Accelerationen blev 50 m s^{-2} . För att konvertera det till G-krafter dividerades accelerationen med tyngdaccelerationen 9.82 m s^{-2} . Det medförde att Tifo-pinnen påverkades av en G-kraft på runt 5 g.

3.5.2 Beställning av expansionskort

På grund av problem med den egenframställda accelerometerkretsen köptes ett färdigt kort med accelerometer som passade valt utvecklingskort, ett så kallat expansionskort. Prototyp 2 använde ett färdigbyggt expansionskort med accelerometer och gyroskop vilket underlättade felsökning. Med expansionskortet minskade osäkerheten om komponenterna var rätt kopplade. Precis som accelerometern från Prototyp 1 använde sig expansionskortet av I2C för kommunikation.

Efter test med mjukvara visade det sig att gyroskopet fungerade bättre för positionsberäkning än accelerometern. Innan Prototyp 2 var färdigbyggd sågs det över vilka utportar som skulle användas av expansionskortet och hur många som var fria att användas till annat. Expansionskortet tog upp många GPIO-pinnar som ursprungligen tänkts användas till annat. Kopplingschema för prototypen återfinns i Bilaga A.

3.5.3 Gränssnitt för bildbyte

I likhet med utvecklingskortet inkluderade expansionskortet två tryckknappar som kunde användas för att styra programmet. Varje gång en knapp trycktes ned skedde ett avbrott och tiden då det skedde sparades ner. När knappen sedan släpptes mättes hur lång tid som passerat. Vid ett kort tryck byttes bild och vid ett längre tryck pausades programmet. Om programmet var pausat startade det igen vid nästa knapptryckning. Förutom knappar gjordes försök med en bitbrytare (Eng: DIP-switch) för att smidigare kunna välja bild. Bitbrytaren hade sex separata brytare där varje brytare representerade en bit i talet som skulle välja en specifik bild. Då expansionskortet tog upp många GPIO-pinnar, vilket beskrivs i avsnitt 3.5.2, fick GPIO-pinnar som var funktionsbundna användas till att driva bitbrytaren vilket inte fungerade. Bitbrytare användes därför inte i Prototyp 3.

3.6 Tillvägagångssätt för bestämning av lysdioder

Antalet lysdioder behövde vara tillräckligt för att utskriften inte skulle bli uppdelad men samtidigt litet nog för att inte ta för stor plats på Tifo-pinnen och därmed göra den svårare att hantera. Utskriftens kolumner lagrades som bitmappar, representerade i hexadecimala tal. Därav togs beslutet att ett 4-tal lysdioder var det optimala utförandet. För Prototyp 1 bestämdes antalet lysdioder till 16 stycken och till övriga prototyper 32 stycken. För att få ett riktat ljus och en låg profil valdes platta lysdioder. Färgen på lysdioderna i Prototyp 1 valdes till röd.

I Prototyp 2 användes fler lysdioder för en längre prototyp och därmed större skrivyta. Tillvägagångssättet och motiveringen var samma som i Prototyp 1 bortsett från byte av färg på lysdioder. Lysdiodernas färg byttes från röda till gröna för att undersöka hur en annan ljusstyrka och våglängd upplevdes ur bländningssynpunkt. Skillnaden i framspänning mellan de gröna och röda lysdioderna påverkade ej kretsens utseende då LED-drivarna korrigerade det. I Prototyp 3 användes röda lysdioder igen. Beslutet grundades i att färgen antogs synas bäst samt att den var bäst lämpad för projektet, vilket presenterats i Teori-avsnittet. En jämförelse mellan de olika lysdiodernas egenskaper visas i tabell 4.

Tabell 4: Jämförelse över röda respektive gröna lysdioders egenskaper gällande våglängd, spänning, strömstyrka samt ljusstyrka.

| | Gröna lysdioder | Röda lysdioder |
|--------------------------|-----------------|----------------|
| Våglängd nominell | 520 nm | 625 nm |
| Framspänning | 3.2 V | 2.1 V |
| Framström | 30 mA | 30 mA |
| Ljusstyrka | 540 mcd | 400 mcd |

I programmet sparades bilder och texter som en lista (Eng: Array) av binära heltal på 16 respektive 32 bitar där varje tal motsvarade ett vertikalt tvärsnitt av bilden eller texten. Bilden blev då en matris av bitar där varje rad motsvarade en lysdiod. Varje kolumn motsvarade de lysdioder som skulle vara tända vid en specifik tidpunkt. Lagringsmetoden efterliknade den fysiska utritningens utseende då en bildpunkt (Eng: Pixel) i en kolumn motsvarades av en bit i ett tal. Konverteringen från grafisk representation till lista av tal visas i Figur 7.

Varje gång en ny bild skulle laddas in behövde programmet modifieras och en ny överladdning till utvecklingskortet ske. Därför behövdes stöd för fler bilder. Funktionen implementerades med en lista som höll ordning på de olika tillgängliga bilderna, i praktiken en lista av listor. Längden av varje bild lades till i bildens egna listas första position så att programmet kunde rita ut bilden som tänkt. För att byta mellan de olika bilderna behövdes ett fysiskt gränssnitt som återfinns i avsnitt 3.5.3 för att skicka en signal till programmet om att byta bild.

3.8 Resistorer

I diodkretsen behövdes två resistorer, en hög resistor som fungerade som ett begränsningsmotstånd som begränsade läckströmmen från kretsen samt en låg resistor som reglerade inströmmen från transistorerna ytterligare. Om resistorerna ej monterats hade lysdioderna fått för hög inström och därmed kunnat kortslutas. Begränsningsresistansen användes främst i stabiliserande syfte. Resistorer användes enbart i Prototyp 1. I Figur 3 i avsnitt 3.1 på sidan 9 motsvarar den höga resistorn R2 och den låga resistorn R1.

Värdet på resistanserna räknades ut till 14Ω på den låga resistansen samt $4\text{k}\Omega$ på begränsningsresistansen. Det gav en inspanning på 5V (2.1V över diod, 2.9V över motstånd) samt en spänning över begränsningsresistansen på 3.3V , vilket motsvarade utspänningen från utvecklingskortet. Strömmen i kretsen blev 54mA . Med valda resistanser uppfylldes dioderna krav på en framström på minst 30mA , maximalt 100mA samt en framspänning på 2.1V .

3.9 Batterienhet

Strömkällan bestämdes i Prototyp 1 till en mobilladdare då det var ett enkelt sätt att strömsätta prototypen och som är vanligt förekommande. Den ersattes av ett portabelt batteri i övriga prototyper för att göra Tifo-pinnen portabel. Det portabla batteriet som användes hade en kapacitet på 10.4A h och vägde 241g .

3.10 LED-drivare

LED-drivare valdes till Prototyp 2 för att minska antalet komponenter, för att göra dioderna dimbara och enklare att styra. Att ersätta transistoren och resistorerna med LED-drivare gjorde kretsen mer hanterbar. Kretsen för LED-drivarna visas i Bilaga D.

En strömbegränsning möjliggjorde justering av ljusstyrka hos lysdioderna. Varje utström gick att justera enskilt från varje enskild lysdiod. Ekvation 3 beräknar utströmmen beroende på maximal ström samt strömbegränsningens bestämda värde. Ur Ekvation 4 kan värdet på det strömbegränsande motståndet beräknas [29].

$$I_{Outn} = \frac{I_{MAX} \cdot DC_n}{127} \quad (3)$$

I_{MAX} = Maximal utström.

DC_n = Strömbegränsningsvärdet för utgång n ($DC_n = 0, 1, 2 \dots 127$), $n = 0, 1, 2 \dots 15$

$$I_{MAX} = \frac{V_{IREF}}{R_{IREF}} \cdot 40 \quad (4)$$

$V_{IREF} = 1.24\text{V}$

R_{IREF} = Extern resistor (R_{IREF} ska ej vara mindre än 600Ω)

Flera LED-drivare kunde kopplas i serie på ett sådant sätt att programmet kunde se dem som en enda komponent fast med fler lysdioder. Ihopkopplingen gjorde att programmet som endast skrev till den första LED-drivaren uppdaterade båda. Datan som skulle till den andra LED-drivaren skrevs först. När programmet sedan skrev datan som skulle till den första LED-drivaren skickades datan som redan låg i den vidare till den andra LED-drivaren vilket gjorde att båda uppdaterades med rätt data [29].

Fler lysdioder i Prototyp 2 medförde att styrningen behövde gå över till ett seriellt gränssnitt då utvecklingskortet inte hade 32 tillgängliga utportar för att styra varje lysdiod individuellt. LED-drivarna använde sig av ett modifierat SSI som läser från bussen när klockpuls ges. Utvecklingskortet hade, precis som för I2C, inbyggt stöd för SSI vilket förenklade implementeringen.

I figur 17 sitter hälften av I/O-portarna på övre sidan och andra hälften på nedre sidan. Utöver det sitter LED-drivarens programmerbara pinnar även de på båda sidor av kortet och kortets V_{CC} -ingång på nedre sidan. Ett önskemål var att dioderna skulle sitta i ordning från högst till lägst, det vill säga diod 32 till diod 1. Lösningen gavs genom att dela på utgångarna för de programmerbara pinnarna och på så sätt få in V_{CC} -anslutningen vilket ses i figur 13. Figurerna återfinns i Bilaga D.

3.11 Implementering i Altium Designer

Till Prototyp 1 designades en diodkrets och en accelerometerkrets som sammanfogades med stiftlistor. I Figur 11 visas diodkretsen och i Figur 12 visas accelerometerkretsen. Figurerna återfinns i Bilaga D.

Till Prototyp 2 skapades enbart en diodkrets som behövde bli längre än Prototyp 1 för att alla lysdioder skulle få plats. Kortet behövde därför vara längre än ett europakort för att få plats med alla lysdioder. Kortet modellerades så att den undre delen innefattade 16 lysdioder, en LED-drivare och knappsatsen. Den övre delen innefattade 16 lysdioder och en LED-drivare. Mönsterkortets olika delar visas i Figur 14 och Figur 15. Figur 16 visar en mer detaljerad bild över LED-drivaren och dess anslutningar. V_{CC} - och jordbanorna monterades först i Prototyp 3 vilket innebar att de fick monteras i efterhand i Prototyp 2. Figurerna återfinns i Bilaga D.

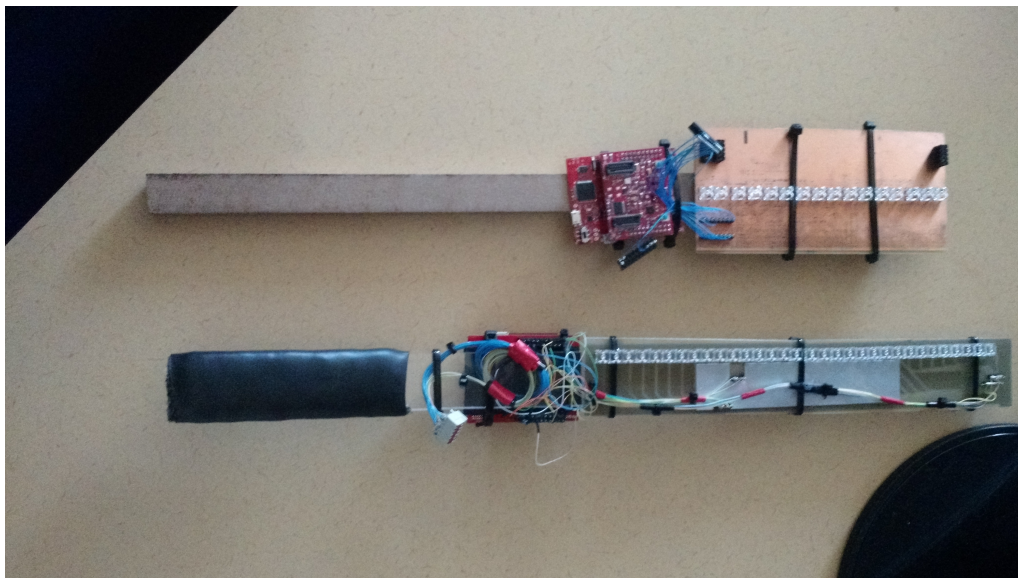
3.12 Framställning av kretskort

Kretskorten skapades med en etsprocess på E-sektionens Teletekniska Avdelning (ETA) för att minska framställningstiden, vilket gav möjligheten till fler prototyper. Skillnaden mellan Prototyp 1 och övriga prototyper var att korten fick delas upp på två laminat. Det innebar att alla banor samt jordplanet behövde skarvas ihop mellan laminaten, vilket utfördes genom att löda fast metalltråd samt bitar av lödfliator. En aluminiumskiva limmades fast på kortets baksida mellan de två laminaten för mekanisk stabilisering. Komponenterna monterades därefter för hand.

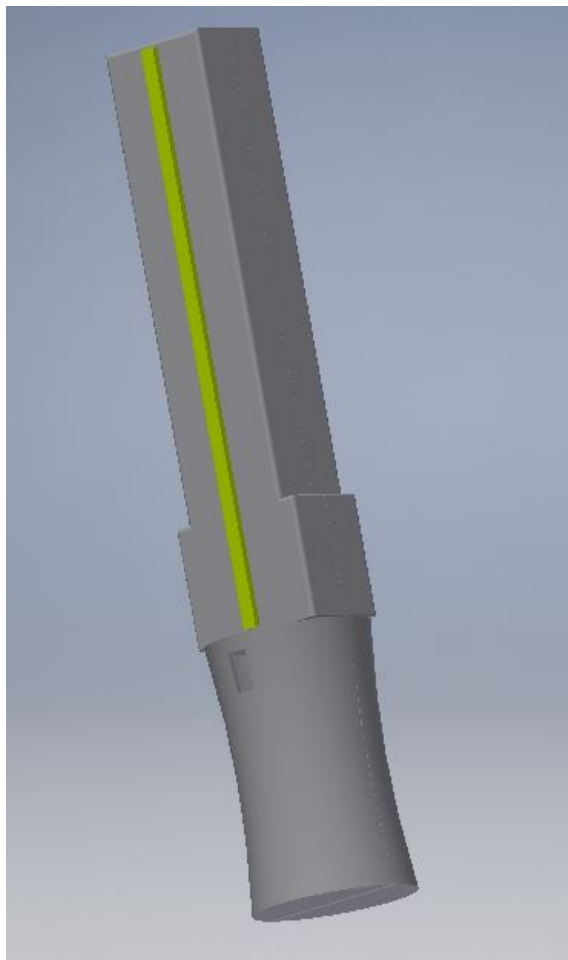
De olika komponenterna monterades antingen genom hålmontering eller ytmontering. De komponenter som hålmonterades var dioderna, kondensatorerna samt stiftlisterna. De komponenter som ytmonterades var resistorerna, transistorerna, LED-drivarna samt accelerometrarna. Lödningen av komponenterna genomfördes därefter i en lödugn för ytmonterade komponenter där temperatur och tid kunde anpassas efter komponenternas maxtemperaturer. Komponenternas temperaturintervall för drift och lödning redovisas i Bilaga C.

3.13 Chassi

Utvecklingskortet, expansionskortet och kretskortet placerades i den övre delen av prototypen medan batterikällan placerades i handtaget tillsammans med foder. I övrigt skedde monteringen på samma sätt som för Prototyp 2. Hänsyn till det estetiska utseendet för Tifo-pinnen togs först i Prototyp 3, se Projektets mål i avsnitt 1.1. Istället för att låta utvecklingskortet, expansionskortet och kretskortet buntas fast togs en CAD-modell fram för att få prototypen estetiskt tilltalande. Chassit till Prototyp 3 skrevs ut i ABS-plast. CAD på chassit till Prototyp 3 visas i Figur 9. Virtrådskopplingar mellan utvecklingskort och kretskort återfinns i Bilaga A. Bild på chassi för Prototyp 1 och Prototyp 2 visas i Figur 8.



Figur 8: Prototyp 1 (överst i bild) och Prototyp 2 (nederst i bild) visar skillnaden i storlek på kretskort samt utveckling av chassi.



Figur 9: CAD av Prototyp 3, innanför chassit sitter utvecklingskortet, expansionskortet, kretskortet och batterikällan

4 Resultat

I det här avsnittet presenteras arbetets resultat utifrån inlednings- och teoriavsnittets målsättningar.

4.1 Test av lysdiodernas prestanda

För att utvärdera prototypens prestanda behövde tester utföras. Testning av lysdioder utfördes i olika ljusförhållanden och på olika avstånd. Testet utfördes av två personer med normal synförmåga. Betygsskalan löd *Ej synligt*, *Synligt* samt *Läsbart*. *Ej synligt* innebar att ljus ej syntes alls, *Synligt* innebar att ljus syntes men bild eller text kunde ej tydas och *Synligt* innebar således att text och bilder var läsbara eller tydbara. I samtliga tester upplevdes text och bilder ha för liten skrivyta, vilket försvårade avläsningen.

Som ses i Tabell 5 nådde prototypen ej upp till kraven i dagsljus. I direkt solljus var text och bilder endast läsbara vid 10 m avstånd. Vid 25 m gick text och bilder ej att urskilja men ett ljus syntes. När testet utfördes i skugga ökade läsbarheten. Text och bilder var läsbara på upp till 25 m avstånd. Vid 100 m avstånd syntes inget ljus. En insikt som gjordes var att bakgrunden, bakom användaren av Tifo-pinnen, spelade roll. Om bakgrunden var ljus minskade möjligheten att urskilja text. Följaktligen ökade läsbarheten om bakgrunden var mörk.

Testet i skymningsljus gav ett annorlunda resultat. Ljusstyrkan hos prototypen var inget problem under testet. På avstånd under 25 m var allt läsbart, över 25 m blev bilder omöjliga att urskilja. Texter kunde urskiljas på upp till 70 m avstånd. Testet led av att ljusflödet från prototypen var såpass högt att allt projicerat upplevdes suddigt. Samma problem uppstod vid test nattetid där ljusstyrkan försvårade avläsning av meddelanden. Som ses i Tabell 5 presterade prototypen inte bättre i mörk omgivning.

Tabell 5: Resultat från test av prototyp. Möjliga resultat var *Läsbart*, *Synligt* samt *Ej synligt*.

| | Dag (Solljus) | Dag (Skugga) | Skymning | Natt |
|------------------|---------------|--------------|----------|---------|
| 10 meter | Läsbart | Läsbart | Läsbart | Läsbart |
| 25 meter | Synligt | Läsbart | Läsbart | Läsbart |
| 70 meter | Synligt | Synligt | Läsbart | Synligt |
| 100 meter | Ej synligt | Ej synligt | Synligt | Synligt |

4.1.1 Positionsberäkning för noggrannare utritning

Med tillgång till både accelerometer och gyroskop kunde en mer precis position beräknas som förbättrade utritningen. Vid positionsberäkning användes gyroskopets rotation över Z-axeln vilket funkade bra när bredden på utritningen berodde på längden av tidigare rörelser. Då gyroskopet till skillnad från accelerometern inte var påverkat av gravitation gav rotation runt gyroskopets Z-axel en mer lättanvänd referens. Gyroskopet kände dock endast av vinkelhastigheten vilket betydde att ju mer horisontellt prototypen viftades desto mer utsträckt blev texten. Om prototypen viftades helt horisontellt var accelerometern ett bättre alternativ då gyroskopet inte fick något utslag.

Med gyroskopet kunde den aktuella hastigheten läsas av vid varje tidpunkt och med en konstant avläsning kunde en position beräknas. När hastigheten bytte tecken betydde det att pendelrörelsen hade nått en vändpunkt. Vid varje vändpunkt kontrollerades hur långt prototypen hade färdats sedan den förra vändpunkten för att sedan beräkna den nya bildbredden som skulle användas på vägen tillbaka. Genom att göra beräkningen vid varje vändpunkt kunde bilden hållas stabil i luften och avdriften hos gyroskopet minimeras då positionen nollställdes i varje pendelrörelse.

För att få noggrannare utritning testades även att ha en konstant bredd på bilderna. Det visade sig fungera dåligt på texter och gjorde det svårare att nollställa positionen. En metod med accelerometern som främsta källa för att beräkna positionen provades i nästa test. Problem uppstod eftersom gyroskopet behövde användas för att beräkna vinkeln på Tifo-pinnen och sedan beräkna tyngdkraftens påverkan på accelerometern.

4.2 Test av batterilivslängd

I avsnittet Inledning angavs att den färdiga prototypen skulle ha batteri nog för att räckta en hel fotbollsmatch. Förutsatt att prototypen endast används under själva speltiden motsvarar det 90 minuter aktivt användande. Något dedikerat batteritest utfördes inte. Under testningen av lysdiodernas prestanda kontrollerades strömnivån på batteriet. Efter 2 timmars aktivt användande hade ingen av de fyra dioderna för batterinivå slocknat. Beräkningar som gjorts tyder på en maximal batterilängd upp till 17 timmar. Därmed dras slutsatsen att batteriet uppfyller de satta kraven.

En tanke i början av projektet var att försöka driva Tifo-pinnen självständigt eller delvis genom att generera ström vid själva rörelsen (se avsnitt 1.1). Utifrån resultatet från litteraturstudien, som visas i teoriavsnittet 2.2, avstods idén att försöka driva Tifo-pinnen självständigt eller delvis genom energiskördning. Implementationen skulle bli tidskrävande och litteratur pekade på att tekniken inte kunde generera nog med effekt för projektet. Tifo-pinnen använder sig av en pendelrörelse och i många av energiskörningsstudierna behövdes en vibrationsrörelse för att kunna generera och använda energin. Då varje lysdiod har en spänning på 2.1 V och en ström på 54 mA skulle raden av dioder kräva en effekt på cirka 1.5 W för Prototyp 1 och cirka 3 W för Prototyp 2 och Prototyp 3.

Då tekniken med energiskördning genererar energi på μW -nivå skulle den ej klara av att ersätta batterienheten [21]. Dessutom är energiförbrukningen hos dagens accelerometrar hög jämfört med energi som kan skördas. Det minskar användningsområdet för energiskördning [15], [33].

4.3 Konstruktionsresultat

Det slutliga resultatet blev en Tifo-pinne som klarade projektets mål i avsnitt 1.1 på nästan alla punkter. Prototyp 3 är portabel och användarvänlig. Dock så är den aningen tung då det portabla batteriet som agerar handtag i Prototyp 3 är tyngre än ursprungligen tänkt.

5 Diskussion

I det här avsnittet diskuteras för- och nackdelar för de olika aspekterna som framkommit i arbetet. Även arbetets planeringsrapport och utförande diskuteras.

5.1 Risk- och miljöanalys av Tifo-pinnen

Den slutgiltiga prototypen, Prototyp 3, bedöms vara relativt ofarlig jämfört med pyroteknik. Prototypen klassas inte som brandfarlig, explosiv eller pyroteknisk och bör därför inte innebära brott mot varken Ordningslagen (OL 1993:1617) eller Lagen om brandfarliga och explosiva varor (LBE 2010:1011). Det innebär att idrottsarrangörer inte reglerar användningen av en sådan prototyp i den aspekten. Prototyp 3 har inga vassa kanter och risken för elektriska stötar bedöms vara låg eftersom elektroniken är inkapslad i ett plastchassi.

Utformningen och tyngden hos Prototyp 3 gör att den tyvärr kan användas som tillhygge för att orsaka skador på personer eller föremål. Därmed är det tveksamt om fotbollsarrangörer skulle tillåta användning av Prototyp 3 på en fotbollsarena. Prototypen skulle förmodligen behöva minskas i både storlek och vikt för att få tas med in på arenor.

Vid användning av Prototyp 3 sker ingen förbränning och därför sker inget utsläpp av luftföroreningar. Däremot finns andra miljöaspekter att ta hänsyn till. I Prototyp 3 sitter ett kretskort, baserat på ett laminat där tillverkningsprocessen inte är känd. Kretskortet framställs genom en etsprocess där bland annat etsvätska måste tas om hand korrekt. Overhead-papper används även i etsprocessen och måste återvinnas korrekt. Lödprocessens miljöpåverkan är okänd. Komponenterna måste återvinnas korrekt vid destruering. Chassit till Prototyp 3 är framställt med ABS-plast och bör återvinnas därefter. Framställningen sker i 3D-printer vilken förbrukar el vid användning. Det inköpta batteriet till Prototyp 3 måste även det återvinnas korrekt och tillverkningsprocessen av batteriet är okänd.

5.2 Patentläge

Funktionaliteten hos prototypen från patentet som nämns i avsnitt 1 är snarlik den hos Tifo-pinnen. Likheten är såpass stor att det skulle riskeras rättsliga konsekvenser om Tifo-pinnen skulle produceras i kommersiellt syfte. Även om Tifo-pinnens målgrupp och syfte skulle ändras finns risken att komplikationer kan uppstå då liknande patent existerar även inom angränsande områden. Exempel på patent inom angränsande områden är pennor, skor, nyckelringar och navkapslar. Flera av patenten har dock upphört att gälla på grund av utebliven underhållsavgift [34], [35].

5.3 Utvärdering av avgränsningarna

Prototyp 3 skulle inte ha fler gränssnitt än USB. Det har inte funnits något behov av andra gränssnitt och därför verkar avgränsningen rimlig. Inte heller något särskilt användargränssnitt har designats. Det gränssnitt som i avsnitt 3.5.3 användes för bildbyte var inbyggt i expansionskortet och utvecklingskortet. Till samtliga prototyper används enfärgade lysdioder. Tid för att implementera flerfärgade lysdioder har inte funnits även om det skulle varit möjligt utifrån kretskonstruktionerna.

5.4 Komponentdiskussion

I det här stycket diskuteras för- och nackdelar för de olika komponenterna i förhållande till inlednings- och teoriavsnittet.

5.4.1 Utvecklingskortets för- och nackdelar

En nackdel med att använda ett utvecklingskort är att det inte går att göra en färdig produkt av Tifo-pinnen. För att bli en färdig produkt måste utvecklingskortet göras om till ett eget kretskort. En annan nackdel med att använda Tiva C TM4C123G Launchpad [26], [27] är att antalet GPIO-pinnar i vissa fall var för begränsat. Några av pinnarna var funktionslåsta och när expansionskortet tillkom låste även det pinnar. Det gjorde att det fanns få fria GPIO-pinnar och vissa funktionslåsta fick användas i övriga prototyper. Figur 6 i sektion 3.4 visar utvecklingskortets GPIO-pinnar.

5.4.2 Val av ARM-processorn samt andra alternativ

Arkitekturen är dominerande inom inbyggda system, enkortsdatorer och utvecklingskort. Det fanns i princip inget rimligt alternativ till att använda ARM-processorn på Tiva Launchpad [26], [27]. Den valdes då kompetens om utvecklingskortets funktioner fanns på ETA samt att den var mindre än andra alternativ. Andra varianter av utvecklingskort eller enkortsdatorer som till exempel Arduino eller Raspberry Pi hade eventuellt kunnat användas. Fördelen med andra alternativ kan vara att de är populära bland hobbyprojekt och därmed finns många problem med tillhörande lösningar publicerade på internet. Anledningen till att andra utvecklingskort inte valdes var att de antingen hade för liten beräkningsförmåga eller för stor fysisk storlek.

5.4.3 Olika seriella gränssnitt till olika komponenter

Då rätt ingångar och grundläggande stöd för båda protokollen fanns på utvecklingskortet valdes de komponenter som uppfyllde målen bäst till lägst pris. I2C och SPI skiljer sig huvudsakligen i hastighet och skalbarhet. Hade antalet I/O-portar på utvecklingskortet varit en kritisk punkt hade I2C lämpat sig bäst då det tillåter upp till 127 enheter med endast två I/O-portar.

Om den kritiska punkten istället hade varit hastighet hade SPI lämpat sig bättre då den endast är begränsad av vad enheterna som används klarar av och inte själva protokollet. Det är inte ovanligt att SPI-enheter kommunicerar med mer än 10 MHz medan I2C använder 100 till 400 kHz i normala användarförhållanden med en absolut högsta frekvens på 5 MHz då speciell hårdvara används.

5.4.4 Expansionskortets för- och nackdelar

När kommunikationen till expansionskortet fungerade kunde värden från andra sensorer också läsas av. Expansionskortet hade bättre dokumentation än den tidigare accelerometerkretsen och var därför lättare att jobba med [30], [31]. Den medförde dessutom en gyrometer, en komponent som ursprungligen inte hade tänkts användas, men som fungerade bättre än accelerometern vid de flesta pendelrörelser.

Nackdelar med expansionskortet var att det skulle sättas fast på utvecklingkortet. Därmed försvann den ursprungliga tanken med en accelerometer i toppen och en i botten. Expansionskortets alla funktioner gjorde också att det använde fler GPIO-pinnar än nödvändigt och det blev för få kvar. Det medförde att bitbrytaren som beskrivs i avsnitt 3.5.3 inte kunde användas. Gyroskopet är inte heller stabil i insamlingen av data vilket skapar den avdrift som beskrivs i stycket Konstruktionsprocess.

5.4.5 Lysdiodernas prestanda i förhållande till ögats funktion

Prototypen nådde enligt testet i avsnitt 4 inte upp till de krav som satts. Det visade sig att externt ljus påverkade prototypens synlighet under dagtid, under nattetid var problemet omvänt. Testförfarandet var inte optimalt. Natttestet kunde inte utföras på en helt mörklagd plats. Likaså kunde inte dagtestet utföras i mulet väder. Om en större mängd testpersoner använts hade testet gått att betrakta som mer vetenskapligt. Det utförda testet är mer att betrakta som en fingervisning för prototypens prestanda.

Projektets målet i avsnitt 1.1 för Prototyp 3 var att de projicerade meddelandena skulle kunna avläsas på 90 meters avstånd. För att vanlig text ska kunna vara läsbar på satt avstånd måste den vara mycket stor. Det är därför inte rimligt att en Tifopinne på 40 cm ska kunna vara läsbar på samma avstånd. En tänkbar lösning på ljusets oläsbarhet skulle kunna vara att implementera stöd för dimring av dioderna. Om ljusstyrkan gick att dimra ner skulle den projicerade texten troligtvis vara mer läsbar under kvälls- och nattetid. Det är möjligt att dimra ner LED-drivarna men hanns inte med i implementationen av mjukvaran.

5.4.6 LED-drivarens för- och nackdelar

I Prototyp 2 och Prototyp 3 infördes LED-drivare istället för transistorerna och resistorerna. LED-drivarna gjorde kretsen mer hanterbar då det var färre komponenter att montera samt att de hade fler funktioner för att styra lysdioderna.

Nackdelar med LED-drivaren var att dess datablad var svårtolkat samt att den införde ett nytt kommunikationsprotokoll, SSI, som skiljde sig från I2C och var en specialvariant av SPI [29]. Två olika kommunikationsprotokoll skulle eventuellt kunna underlätta vid felsökning men annars är det enklare med ett kommunikationsprotokoll. Införandet av SSI medförde dock att kommunikationsprotokollet SPI undersöktes. SPI visade sig vara enklare att arbeta med än I2C då det fanns mer dokumentation.

SPI kan dessutom hantera olika busshastigheter och hade därför varit ett bättre alternativ för accelerometerkretsen i Prototyp 1. Expansionskortet fanns däremot enbart i I2C.

Med fler lysdioder i Prototyp 2 och Prototyp 3 fanns det inte tillräckligt med lediga utportar för att varje lysdiod skulle få en egen GPIO-pinne. Det hade kunnat gå att lösas vid inköp av ett större utvecklingskort med fler GPIO-pinnar. Då hade dock problemen uppstått med en större och tyngre Tifo-pinne som i sin tur hade kunnat hämma pendelrörelsen.

5.4.7 Batterilivslängd

Ett portabelt batteri som går att ladda med 10.4 A h borde klara runt 17 timmars aktivt användande av Tifo-pinnen då den har en effekt på 3 W. Tifo-pinnen klarar därför en fotbollsmatch på 90 minuter utan svårigheter. Nackdelen med det portabla batteriet är dess vikt och storlek. En vikt på 241 g är tungt att använda vid en pendelrörelse och dess storlek medför att det endast går att använda som handtag. Det medför att det inte är batterilivslängden som hämmar användandet under 90 minuter utan snarare Tifo-pinnens vikt.

5.4.8 Möjligheter med energiskördning

Metoden energiskördning visade sig inte producera tillräckligt med energi för att kunna driva Prototyp 3, vilket skrivs i avsnitt 2.2. För att kunna använda energiskördning i prototypen hade lysdioderna behövt vara mindre effektkrävande. Förutom effektkraven från lysdioderna drar accelerometrarna för hög energi jämfört med möjlig skördbar energi [15], [33]. Det är inte rimligt att minska från 3 W till mW och samtidigt upprätthålla kravet på läsbarhet. Som tidigare visat fanns svårigheter med läsbarhet av texten på Tifo-pinnen även vid 3 W. En lägre effekt skulle generera i en lägre ljusstyrka och därmed sämre läsbarhet dagtid. Energiskördning är dock inte allmänt ett dåligt alternativ. Det är ett miljövänligt och underhållsfritt alternativ till en låg kostnad men lämpar sig bättre för elektronik med lägre effekt [36].

5.4.9 Miljöaspekter

Då en Tifo-pinne inte är en förbrukningsvara, som pyroteknik, är det ett bättre alternativ utifrån ett miljöperspektiv. Frågan är dock om utvecklingen av återvinningen går tillräckligt fort i proportion mot den ökande utvecklingen och tillverkningen av teknik. Energiskördning skulle kunna vara framtiden om forskningen hittar metoder att utvinna mer energi från vardagliga aktiviteter. Utifrån ett säkerhetsperspektiv vid folktäta evenemang är Tifo-pinnen ett bättre alternativ än pyroteknik då den inte genererar värme. Tifo-pinnen skulle dock kunna skada andra i omgivningen på grund av dess tyngd och att den används genom en pendelrörelse vilket kan medföra svårigheter att ta med Tifo-pinnen på evenemang.

5.5 Konstruktionsprocess

I det här stycket diskuteras för- och nackdelar vid olika konstruktionsprocesser från avsnitt 3 i förhållande till avsnitt 1 Inledning och avsnitt 2 Teori.

5.5.1 Komponenternas temperaturintervall

Komponenterna som användes i konstruktionen (avsnitt 3) hade olika drift- och lödningstemperaturer. Komponenter som accelerometer och LED-drivare är extra känsliga för höga temperaturer. Fördelen med de ytmonterade komponenterna var att de gick fortare att löda och tog mindre plats på kretskortet. De komponenter som kunde lödas med lödkolv var hålmonterade. Fördelen med hålmontering och lödkolv är att komponenterna lättare hålls fast på kretskortet och att lödningarna blir mer hållfasta. Nackdelen med hålmontering och lödkolv är att lödningarna och komponenterna tar mer plats på båda sidor av kretskortet. Komponenternas temperaturintervall för drift och lödning redovisas i tabell 7 i sektion 3.12.

5.5.2 För- och nackdelar med Altium Designer

När det stod klart att ett eget kretskort skulle göras uppkom frågeställningen om vilken PCB-design programvara som skulle användas. Valet stod mellan programvarorna Eagle eller Altium Designer. Eagle fanns tillgänglig för nedladdning gratis men slutligen valdes Altium Designer som program. Licenser fanns att låna på ETA och där fanns även hjälp att få i de fall det behövdes. En anledning till att Altium Designer valdes var att det fanns bra nybörjarmanualer [22].

Nackdelar med användning av Altium Designer var att det var svårt att hitta rätt fotsteg för komponenterna. Det fanns många olika fotsteg för samma komponent vilket gjordes att komponenter riskerade att bli felvända. En felvändning av transistor skulle medfört att transistorerna inte begränsade strömmen.

Till Prototyp 1 gjordes diodkretsen och accelerometerkretsen separat i Altium Designer och sattes senare ihop med stiftlistor. I Prototyp 2 och Prototyp 3 gjordes en diodkrets med 32 lysdioder. Det medförde att lysdioderna inte fick plats på ett enkelt europakort utan behövde delas upp på två kort och därefter skarvas ihop.

Ett dubbelt europakort som rymde alla lysdioderna hade varit ett bättre alternativ. Det var dock svårare att få tag på och dyrare vilket gjorde att skarvningsmetoden valdes istället.

I Prototyp 2 designades kortets V_{CC} - och jordanslutning inte i PCB-designen utan fick fästas i efterhand. De lades till i PCB-designen i Prototyp 3 vilket var ett bättre alternativ då det var enklare att ansluta virtråd till stiftlistor än direkt till de respektive banorna.

5.5.3 För- och nackdelar för olika positionsberäkningar

Tillgång till både accelerometer och gyroskop gör att en mer precis positionsberäkning kan göras. Gyroskopet påverkas till skillnad från accelerometern inte av gravitation. Om Tifo-pinnen hålls i horisontellt läge kommer en av accelerometerens axlar att ge utslag på grund av gravitationen. Därmed blir gyroskopet mer lättanvänt då gravitationskraften inte behöver tas i beaktning. Gyroskopet kräver att Tifo-pinnen viftas i en lätt bågformad rörelse då det bara känner av vinkelhastighet. Om Tifo-pinnen viftas helt horisontellt är accelerometern ett bättre alternativ då gyroskopet inte får något utslag över huvud taget.

Med hjälp av ett gyroskop kan den aktuella hastigheten läsas av vid varje tidpunkt och med en konstant avläsning kan en position beräknas. När hastigheten byter tecken betyder det att pendelrörelsen når en vändpunkt. Vid varje vändpunkt kan det kontrolleras hur långt prototypen har färdats sen den tidigare vändpunkten för att sen beräkna bildbredden för nästa periodhalva. Genom att göra beräkningen vid varje vändpunkt kan bilden hållas stabil i luften och risken att bilden driver iväg minimeras då positionen nollställs i varje period.

5.5.4 Avdriftsproblem

Konsekvensen av att göra nollställningen vid varje vändpunkt och anpassa textbredden därefter var att texten blev utdragen vid bred viftning och ihoppressad vid smal viftning. Pendelrörelsens bredd kunde avläsas och små variationer i bredd gjorde inte meddelandet svårare att tyda. Då utdragen text hade en större total yta kunde texten bli lättare att läsa på längre avstånd än text med rätt proportioner. Bredden bestämdes av pendelrörelsen och kunde därför anpassas av användaren beroende på situation för bättre synlighet.

Gyroskop och accelerometrar var inte helt stabila i sin datainsamling vilket gjorde att de alltid drev lite åt något håll. Eftersom datan från sensorerna påverkade positionen innebar det att bilden ändrades trots att prototypen hölls stilla. Då prototypen var tänkt att kunna viftas med kontinuerligt skulle problemet göra att bilden drev iväg från mitten tills den inte syntes alls.

För att förhindra avdriften behövde antingen bildens position nollställas regelbundet eller så behövde prototypen kalibreras innan användning. Att ha en kalibreringsfas vid uppstart innebar att prototypen behövde ligga stilla ett antal sekunder för att kunna kompensera för avdriften. Resultatet var att avdriften minskade men försvann inte helt, dessutom skulle det begränsa användbarheten då prototypen inte kan börja viftas direkt. Det bättre alternativet visade sig vara att regelbundet nollställa positionen. Nollställning av prototypens position testades först att göras i centrum av bilden men då det ledde till ett avbrott i texten valdes att istället nollställa positionen i pendelrörelsens vändpunkter.

När I2C-kommunikationen fungerade fullt ut noterades det att både accelerometern och gyroskopet alltid gav små mätfel, oavsett om prototypen var i rörelse eller låg stilla. Orsaken var brus som uppstod i komponenten då de mekaniska delarna påverkades. Då mätvärdet behövde integreras för att få fram rätt enhet förstärktes felet ytterligare. I projektet framträdde felet som en långsam rörelse av prototypen, vilket gjorde att texten drev åt sidan och blev ocentrerad.

5.6 Utvärdering av planering och konstruktionssätt

Tidsplaneringen som kan ses i bilaga B gjordes i början av projektet för att underlätta förståelsen och inblicken i när och hur mestadelen av tiden skulle läggas. Gruppen delades in i två delar av ansvar, en mjukvarugrupp och en hårdvarugrupp. Det kändes som ett bra sätt att utföra projektet. Arbetssättet möjliggjorde frihet till att kunna arbeta på egen hand utan att behöva vara beroende av den andra gruppen. Så snart mjukvarugruppen fick ett utvecklingskort att jobba med behövde de inte mer stöd och material från hårdvarugruppen. En annan möjlighet hade varit att arbeta tillsammans genom att först slutföra hårdvarudelen, sedan mjukvarudelen. Fördelen med det sättet är att samtliga i gruppen hade fått samma djupa förståelse för de olika delarna. Det hade även varit till fördel när rapporten skrevs då det var lättare få en helhet i rapporten om alla i gruppen hade samma kunskaper. Nackdelen är att det hade tagit längre tid och man hade jobbat på varandra. Arbetet delades upp i tre milstolpar för att öka motivationen. Tidsplaneringen behövde inte ändras under projektets gång. Det enda som inte hanns med i tid var byggnationen av den färdiga Tifo-pinnen. Anledningen var att 3D-printern som skulle användas var upptagen och krånglade när den väl var ledig.

6 Slutsats och utvecklingsmöjligheter

Projektets syfte var att designa en Tifo-pinne som kunde programmeras till att rita synliga ord och bilder i luften vid en pendelrörelse i tillräckligt hög frekvens. Prototyp 3 bestod utav ett egengjort kretskort med LED-drivare, lysdioder, utvecklingskort, expansionskort samt chassi.

Prototyp 3 har röda lysdioder eftersom rött ljus upplevs längst kvarvarande. För att ljuset ska var konstant behöver man vifta fram och tillbaka minst 5 gånger i sekunden. Det är inte realistiskt utan istället syns en blinkande text eller bild när man viftar långsammare.

Energiskördning är en intressant teknik som möjliggör minskad användning av batterier, något som påverkar miljön samt ekonomin positivt. Det är dock inte aktuellt i Tifo-pinnen då dess effektkrav är högre än vad som idag är möjligt att generera genom energiskördning.

Ett gyroskop känner av vinkelhastigheten och vid en pendelrörelse ges en användbar hastighet från gyroskopet. Accelerationen från en accelerometer behöver däremot räknas om till en hastighet samt kompenseras för gravitationen. Det gör gyroskopet mer lämpad för användning i Tifo-pinnen.

Det slutliga resultatet blev en Tifo-pinne som presterar bra överlag men klarade inte alla projektets mål. Prototyp 3 klarade av testerna för batterilivslängd för användande i 90 minuter men uppfyllde inte kraven på synlighet fullt ut under skymningsförhållanden. Under dagtid var utskriften svårare att se på grund av bakgrundsljus och nattetid var utskriften svårare att se då prototypen lös för starkt. Skillnader mellan olika färger på lysdioderna i ögats fokus var försumbar. Resultatet gick därför inte att koppla till litteraturen kring ögats funktion.

Utvecklingsmöjligheter som skulle kunna finnas i framtida projekt liknande Tifo-pinnen skulle kunna vara att ytterligare forska på energiskördning. Andra möjligheter är att utveckla elektroniken i form av flerfärgade lysdioder (RGB), eller att möjliggöra anslutning av hårdvaran till exempelvis en mobil enhet, för att inte behöva använda förprogrammerade bilder och texter.

Ur en miljösynpunkt är det svårt att säga huruvida Tifo-pinnen är ett bättre alternativ än pyroteknik. Det beror på att många av tillverkningsprocesserna för komponenter och material är okända. Det är svårt att säga hur stor mängd pyroteknik som en Tifo-pinne skulle kunna ersätta och därför försvåras forskningsarbetet kring dess miljöpåverkan.

Referenser

- [1] Stig Johansson, "Pyroteknik," 2016. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/pyroteknik>
- [2] Justitiedepartementet, "16 § Lag (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor," 2010. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Lag-20101011-om-brandfarlig_sfs-2010-1011/
- [3] —, "2 kap. 29-30§ Ordningslag (1993:1617)," 1993. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: https://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Ordningslag-19931617_sfs-1993-1617/#K2
- [4] —, "2 kap. 22-25§ Ordningslag (1993:1617)," 1993. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: https://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Ordningslag-19931617_sfs-1993-1617/#K2
- [5] SvFF, "Tävlingsbestämmelser 2015," Svenska Fotbollsförbundet, ss. 5–10, 2015. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: http://fogis.se/ImageVault/Images/id_92120/scope_0/ImageVaultHandler.aspx
- [6] UEFA, "UEFA Disciplinary Regulations," UEFA Disciplinary Regulations, s. 9, 2013. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: http://www.uefa.org/MultimediaFiles/Download/Tech/uefaorg/General/01/95/84/21/1958421_DOWNLOAD.pdf
- [7] FIFA, "FIFA Stadium Safety and Security Regulations," FIFA For the Game. For the World., ss. 71–74, 2016. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: http://www.fifa.com/mm/document/tournament/competition/51/53/98/safetyregulations_e.pdf
- [8] C. Ye, R. Chen, och M. Chen, "The impacts of Chinese Nian culture on air pollution," Journal of Cleaner Production, ss. 1–6, 2015. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: https://www.researchgate.net/profile/Mingxing_Chen/publication/277349042_The_Impacts_of_Chinese_Nian_Culture_on_Air_Pollution/links/556d5c3408aeab7772232519.pdf
- [9] EPA, "United States Environmental Protection Agency, FAQ about Fine Particle," 2016. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <https://www3.epa.gov/pmdesignations/faq.htm#0>
- [10] F. Cucchiella, I. D'Adamo, S. L. Koh, och P. Rosa, "Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 51, ss. 263–272, 2015. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: http://ac.els-cdn.com/S1364032115005808/1-s2.0-S1364032115005808-main.pdf?_tid=3dc6a7a0-fb35-11e5-a1ce-00000aab0f6c&acdnat=1459864359_50381856e150204c950f8cf4888b0af4
- [11] M. Wong, S. Wu, W. Deng, X. Yu, Q. Luo, A. Leung, C. Wong, W. Luksemburg, och A. Wong, "Export of toxic chemicals - A review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling," Environmental Pollution, vol. 149, ss. 131–140, 2007. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: http://repository.hkbu.edu.hk/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=cies_ja

-
- [12] M. Shimomura, M. Ishikawa, H. Uemura, R. Fukasawa, och M. Ota, "Swing-type display device," U.S. Patent US 7030420, April 18, 2006. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://www.google.se/patents/US7030420>
- [13] A. C. Hardy, "A Study of the Persistence of Vision." Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 6, nr. 4, ss. 221–224, 1920. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1084467&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- [14] M. C. Hamilton, "Recent advances in energy harvesting technology and techniques," i IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. IEEE, oct 2012, ss. 6297–6304. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6389019>
- [15] S. Khalifa, M. Hassan, A. Seneviratne, och S. K. Das, "Energy-Harvesting Wearables for Activity-Aware Services," IEEE Internet Computing, vol. 19, nr. 5, ss. 8–16, sep 2015. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7230223>
- [16] M.-G. Kang, W.-S. Jung, C.-Y. Kang, och S.-J. Yoon, "Recent Progress on PZT Based Piezoelectric Energy Harvesting Technologies," Actuators, vol. 5, nr. 1, s. 5, 2016. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://www.mdpi.com/2076-0825/5/1/5>
- [17] P. Li, C. Zhang, och L. Zuo, "Review of power electronics for kinetic energy harvesting systems," i Active and Passive Smart Structures and Integrated Systems 2013, H. Sodano, Red. International Society for Optics and Photonics, apr 2013. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org.proxy.lib.chalmers.se/proceeding.aspx?articleid=1675170>
- [18] A. Phipps, D. Phung, M. Kerber, B. Dick, A. Powers, och R. Waters, "Development of kinetic energy harvesting systems for vehicle applications," i 2011 IEEE SENSORS Proceedings. IEEE, oct 2011, ss. 24–27. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6127010>
- [19] M. Gorlatova, J. Sarik, M. Cong, I. Kymissis, och G. Zussman, "Movers and Shakers: Kinetic Energy Harvesting for the Internet of Things," Technical Report, 2013. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://arxiv.org/pdf/1307.0044v1.pdf>
- [20] G. Bassani, A. Filippeschi, och E. Ruffaldi, "Human motion energy harvesting using a piezoelectric MFC patch." i Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, aug 2015, ss. 5070–3. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26737431>
- [21] D. Berdy, D. Valentino, och D. Peroulis, "Kinetic energy harvesting from human walking and running using a magnetic levitation energy harvester," Sensors and Actuators A: Physical, vol. 222, ss. 262–271, feb 2015. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424714005123>
- [22] A. A. J. Beltran, C. D. Hiwatig, N. J. R. Laguna-Augustin, och M. B. Villanueva, "Teaching Electronic Circuits Using Altium Designer,"

- International Journal of Scientific Engineering and Technology, vol. 3, nr. 10, ss. 1239–1243, 2014. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: http://ijset.com/ijset/publication/v3s10/IJSET_2014_1003.pdf
- [23] NE, “Nationalencyklopedins artikel om ARM,” 2016. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: [http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/arm-\(mikroprocessor\)](http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/arm-(mikroprocessor))
- [24] J. Yiu, The Definitive Guide to ARM CORTEXM3 and CORTEXM4 Processors. Elsevier, 2014. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124080829000014>
- [25] J.-M. Irazabal och S. Blozis, “AN10216-01 I2C MANUAL,” i I2C Manual, San Jose, 2003, s. 50. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10216.pdf
- [26] Texas Instruments, “Tiva™ TM4C123GH6PM Microcontroller Data Sheet,” ss. 1–1409, 2014. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/spms376e/spms376e.pdf>
- [27] —, “Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board User’s Guide,” 2013. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://www.ti.com/lit/ug/spmu296/spmu296.pdf>
- [28] STMicroelectronics, “LIS331DLH MEMS Accelerometer Data Sheet,” ss. 1–38, 2009.
- [29] Texas Instruments, “LED Driver TLC5922 Data Sheet,” 2009. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc5922.pdf>
- [30] —, “BOOSTXL-SENSHUB Sensor Hub BoosterPack User Manual,” 2013. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://www.ti.com/lit/ug/spmu290/spmu290.pdf>
- [31] —, “Tiva™ C Series EK-TM4C123GXL LaunchPad : BoosterPack Development Guide,” 2013.
- [32] —, “BoosterPack Pinout Standard,” 2013. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: http://processors.wiki.ti.com/index.php/File:BoosterPack_Standard.png
- [33] G. Yang, B. H. Stark, S. J. Hollis, och S. G. Burrow, “Challenges for Energy Harvesting Systems Under Intermittent Excitation,” IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, vol. 4, nr. 3, ss. 364–374, sep 2014. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6866249>
- [34] S. P. Capps och R. H. DuFlon, “Rotating toy with electronic display,” U.S. Patent US 5 791 966, Augusti 11, 1998. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <https://www.google.se/patents/US5791966>
- [35] C. J. Molinaroli, “Light emitting diode display device,” U.S. Patent US 6 265 984, Juli 24, 2001. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <https://www.google.se/patents/US6265984>
- [36] C. Kranzler, J. Nagel, och C. Pylatiuk, “Harvesting kinetic energy to supply autonomous lighting on Nordic Walking poles,” Journal of Sports Engineering and Technology, vol. 228, nr. 2, ss. 136–146, nov 2013. [Online]. Tillgänglig 2016-05-29: <http://pip.sagepub.com.proxy.lib.chalmers.se/content/228/2/136.abstract>

Appendix

Bilaga A. Kopplingstabell

| Mikrokontrollerpin | Komponent | Pin | Kabelfärg |
|-------------------------|---------------|-------|-----------|
| PB4 | LED-drivare 1 | BLANK | Grön |
| PF0 | LED-drivare 1 | RX | Grå |
| — * | LED-drivare 1 | TX | Blå |
| PF2 | LED-drivare 1 | CLK | Orange |
| PF3 | LED-drivare 1 | MODE | Guld |
| PF4 | LED-drivare 1 | XLAT | Gul |
| GND (via $1.7k\Omega$) | LED-drivare 1 | IREF | Vit |
| PB4 | LED-drivare 2 | BLANK | Grön |
| — * | LED-drivare 2 | RX | Grå |
| PF1 | LED-drivare 2 | TX | Blå |
| PF2 | LED-drivare 2 | CLK | Orange |
| PF3 | LED-drivare 2 | MODE | Guld |
| PF4 | LED-drivare 2 | XLAT | Gul |
| GND (via $1.7k\Omega$) | LED-drivare 2 | IREF | Vit |

Tabell 6: Kopplingstabell mellan kretskort och mikrokontroller för prototyp 2.
Kopplingar markerade med stjärna är kaskadkopplade.

Bilaga C. Temperaturintervall

Tabell 7: Drifttemperatur och lödtemperatur för komponenter som användes i prototyperna. Informationen är nödvändig för att undvika att komponenterna överhettas i lödningsprocessen.

| Komponent | Drifttemperatur | Lödtemperatur |
|-----------------|--------------------|------------------------------|
| Lysdiod | -40 °C till 100 °C | — |
| Transistor | ≤ 150 °C | ≤ 260 °C (högst 10 sek) |
| Resistor | -55 °C till 125 °C | ≤ 125 °C |
| LED-drivare | -20 °C till 85 °C | ≤ 125 °C |
| Accelerometer | -20 °C till 85 °C | — |
| Utvecklingskort | -40 °C till 105 °C | — |

Bilaga D. Altiumdesign

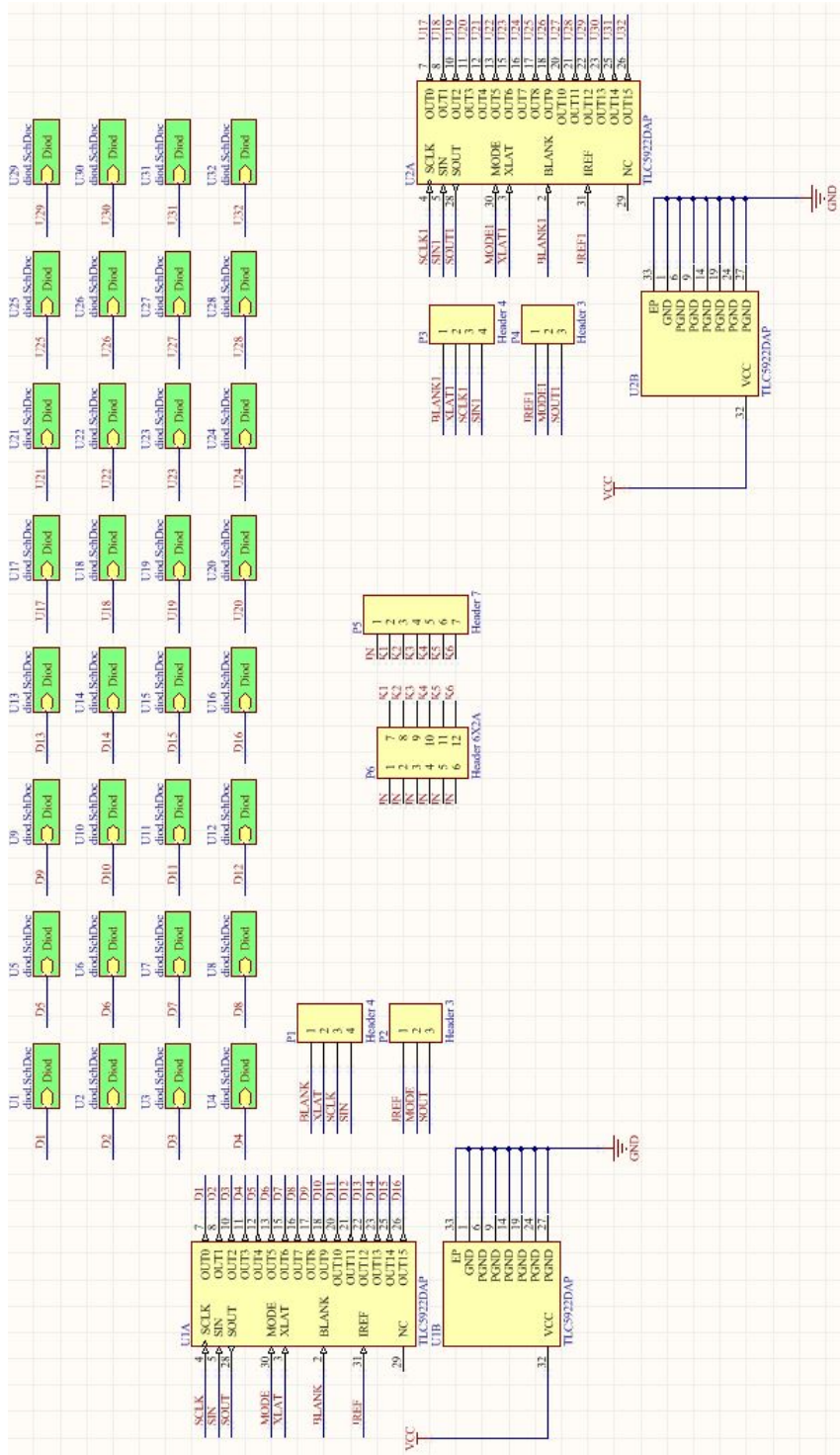
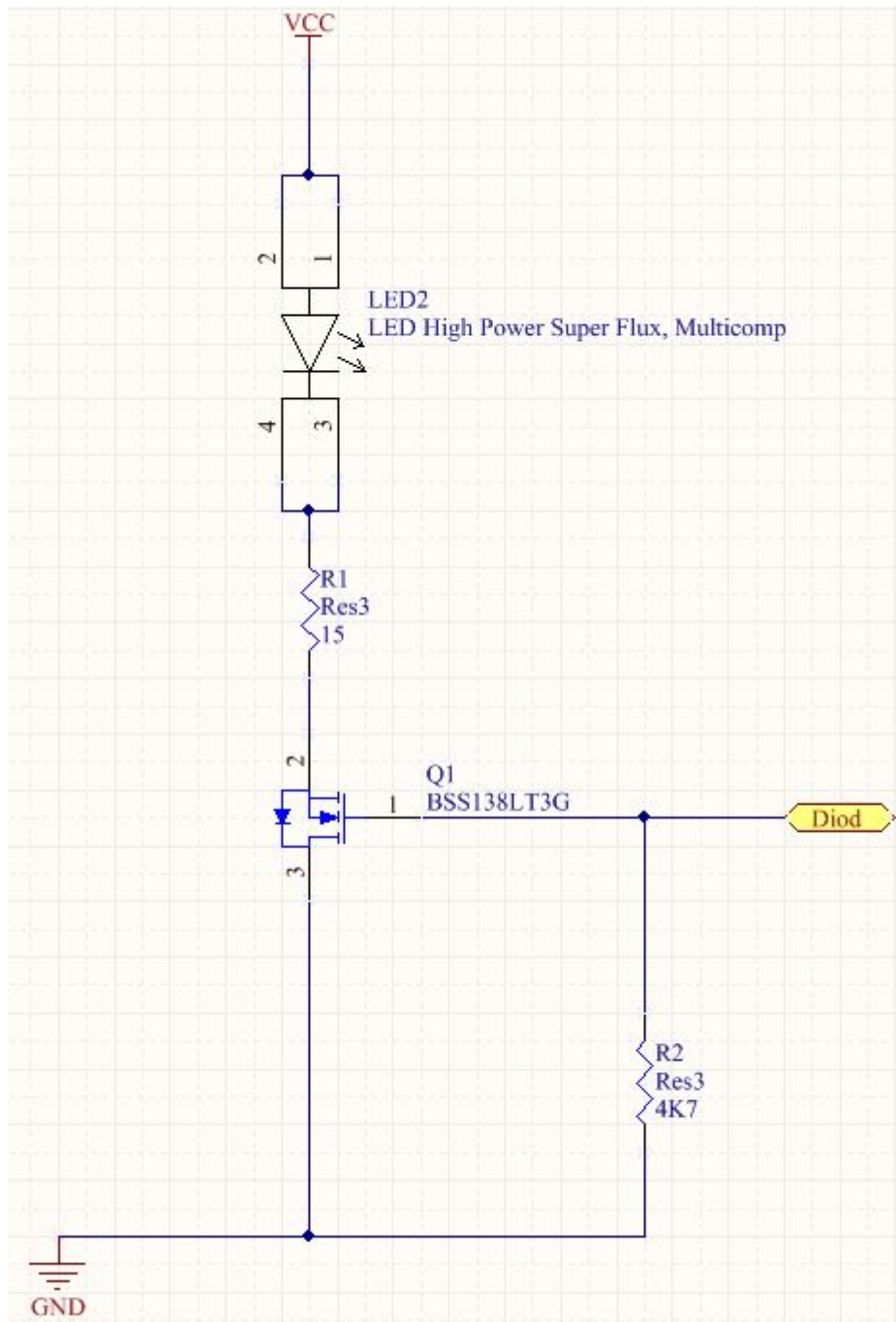
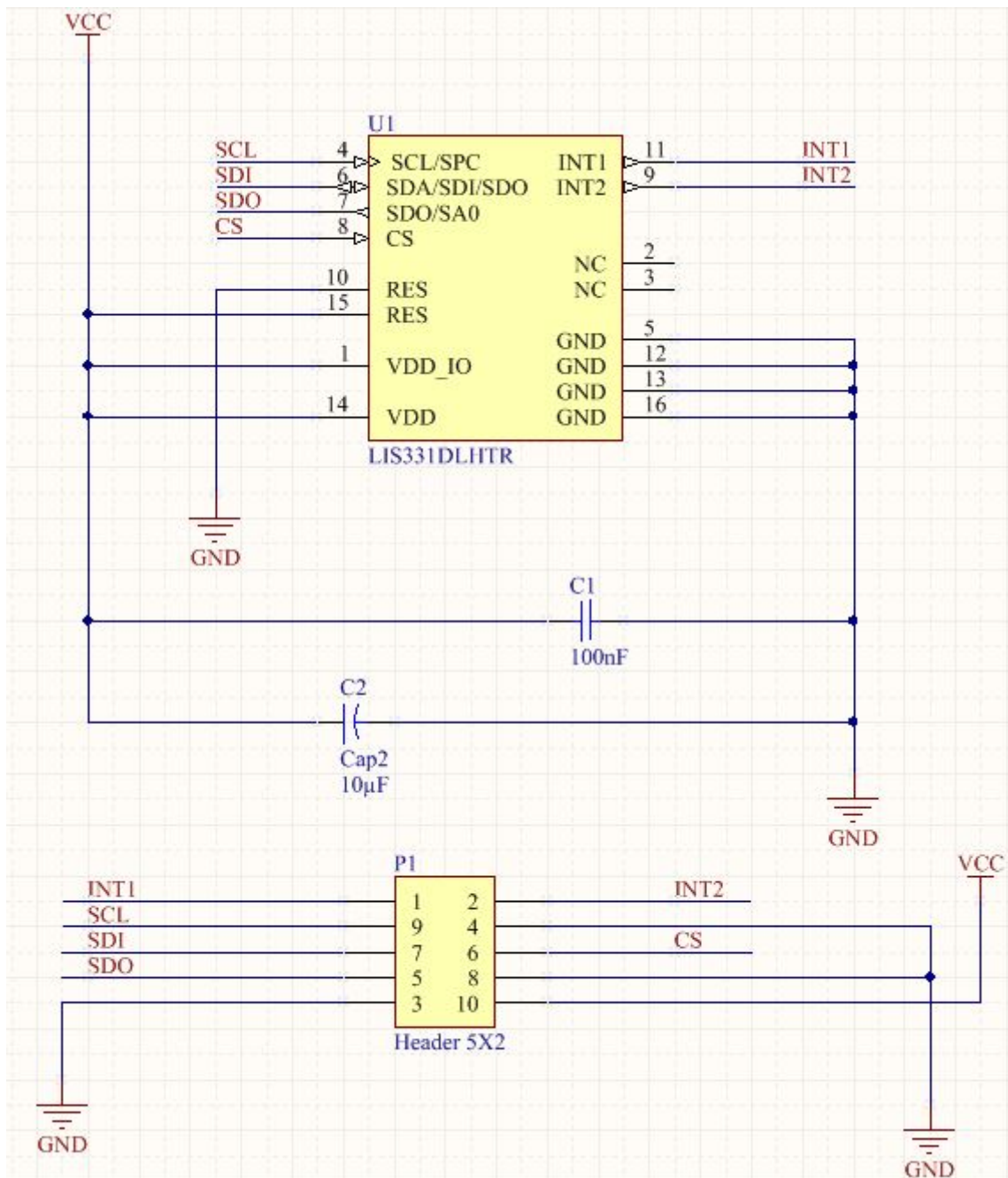


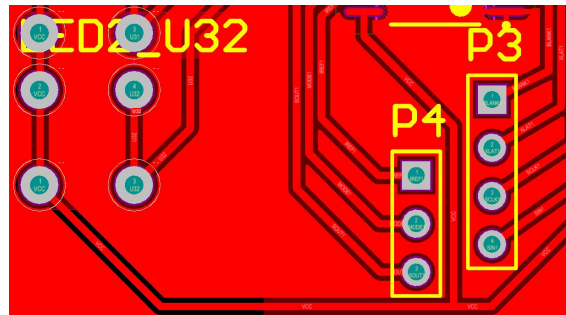
Figure 10: Kretsschema för Prototyp 2 och Prototyp 3 med 32 dioder, två LED-drivare samt signaler till en knappsats.



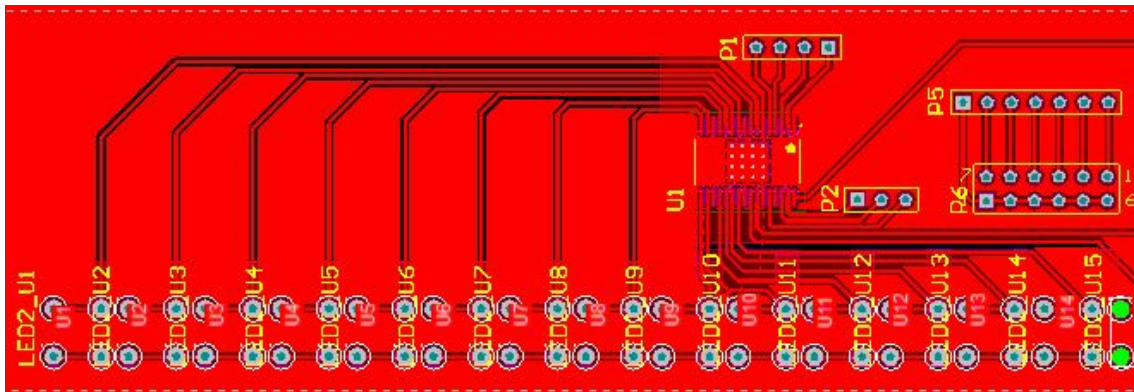
Figur 11: Figur på diodkretsens utseende i Prototyp 1.



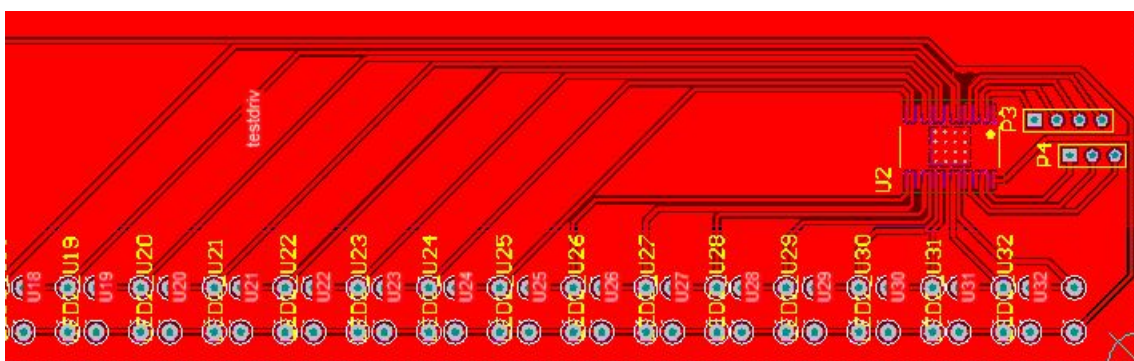
Figur 12: Figur på accelerometerkretsens utseende i Prototyp 1.



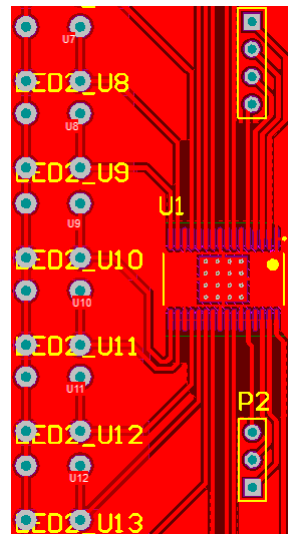
Figur 13: Uppdelning av de programmerbara pinsen för att kunna dra VCC-bana till dioderna och den andra LED-drivaren.



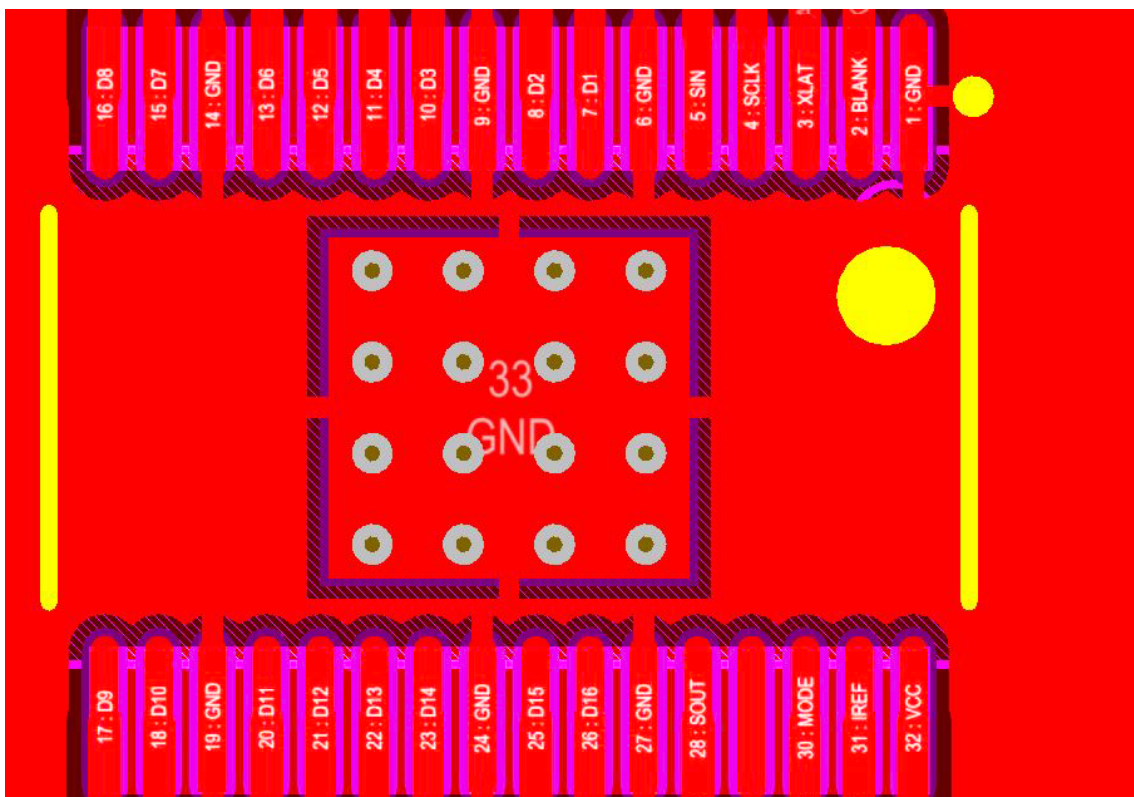
Figur 14: Bild som visar mönsterkortets övre del för Prototyp 2.



Figur 15: Bild som visar mönsterkortets nedre del för Prototyp 2.



Figur 16: Figur på kretskortet för Prototyp 3 som visar LED-drivaren och dess anslutningsstiftlistor.



Figur 17: Större bild på LED-drivarens fotsteg med namn på alla utgångar.