

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

ZOBRAZOVÁNÍ S ROTAČNÍM DISPLEJEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ONDŘEJ KONEČNÝ

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

ZOBRAZOVÁNÍ S ROTAČNÍM DISPLEJEM

ROTATIONAL DISPLAY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ONDŘEJ KONEČNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RICHARD RŮŽIČKA, Ph.D.

BRNO 2012

Abstrakt

Práce se zabývá postupem vývoje hardware a programového vybavení pro rotační displej, který využívá pro snímání polohy údajů z akcelerometru. Je v ní vysvětlen princip fungování rotačního displeje a použitých součástí. Dále jsou diskutovány různé možnosti využití akcelerometru pro tento účel a je vysvětlen princip řešení problému časování zobrazování na tomto displeji. V závěru práce shrnuje výsledky dosažené při vývoji a diskutuje možné budoucí rozšíření vyvinutého zařízení o další funkce.

Abstract

This thesis describes the process of hardware and software development of a rotational display, that uses accelerometer for acquisition of placement data. It explains the principle of operation of the rotational display and of the components that were used. There are discussed various ways of accelerometer usage for these purposes and there is also explained the solution of the problem of timing for the purposes of displaying. In the end the thesis summarizes the results of the development process and outlines possible future development.

Klíčová slova

Rotační displej, mikrokontrolér, MCU, HCS08, Freescale, LED, akcelerometr, magnetometr

Keywords

Rotational display, microcontroller, MCU, HCS08, Freescale, LED, accelerometer, magnetometer

Citace

Ondřej Konečný: Zobrazování s rotačním displejem, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2012

Zobrazování s rotačním displejem

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Richarda Růžičky, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Ondřej Konečný
8. května 2012

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Richardu Růžičkovi, Ph.D. za cenné odborné rady při tvorbě této práce a trpělivost při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat jemu a panu Ing. Václavu Šimkovi za pomoc při výrobě desky plošných spojů pro tuto práci.

© Ondřej Konečný, 2012.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod	3
2	Princip zobrazování	4
3	Princip fungování klíčových komponent	6
3.1	Pouzdra součástek pro povrchovou montáž	6
3.2	MEMS	6
3.3	Akcelerometr	7
3.4	Magnetometr	7
4	Vývoj hardwaru	9
4.1	Analýza a specifikace požadavků	9
4.1.1	LED	9
4.1.2	Pohon	10
4.1.3	Snímání polohy a časování	10
4.1.4	Napájení	15
4.1.5	MCU	15
4.1.6	USB	15
4.2	Návrh elektrického schématu	16
4.2.1	Ochrana součástek před zvýšeným napětím z USB	16
4.3	Návrh desky plošných spojů	17
4.4	Výroba DPS	17
4.5	Testování HW	18
5	Vývoj softwaru	19
5.1	Návrh	19
5.2	Časování a zobrazování	19
5.2.1	Výpočet časů	20
5.2.2	Přepínání akcelerometru a magnetometru	21
5.2.3	Zobrazování segmentů displeje	22
5.2.4	Alternativní způsob zjišťování časů otáčení	23
5.3	Spotřeba	23
5.4	Implementační prostředky	25
5.5	Testování SW a celého zařízení	25
5.5.1	Detekce polohy a časování	25
5.5.2	Přepínání mezi akcelerometrem a magnetometrem	26
5.5.3	Uchycení k závěsu a otáčení v ruce	26

6 Závěr	27
A Obsah CD	30
B Manuál	31
B.1 Potřebné vybavení	31
B.2 Import projektu	31
B.3 Překlad a programování	32
B.4 Ladění programu	32
B.5 Změna zobrazovaného textu	32
B.6 Připevnění k motoru	32
C Schéma zapojení a motiv DPS	34
D Fotografie vyrobeného zařízení	36

Kapitola 1

Úvod

Rotační displej je jednoduchým zobrazovacím zařízením využívajícím k vytvoření obrazu nedokonalosti lidského vnímání. Toto zařízení se v praxi využívá například ve ventilátorech do PC, kde na točících se lopatkách zobrazuje např. aktuální teplotu ve skříní počítače. Jelikož rotační displej vytváří kruhovou zobrazovací plochu, lze jej dobře využít pro zobrazení času ve stylu ručičkových hodin. Odtud také pochází jeho anglický název – *propeller clock*. V kapitole 2 je princip zobrazování pomocí rotačního displeje vysvětlen podrobněji.

Cílem této práce je vytvoření funkčního rotačního displeje schopného zobrazit text, který bude pro získávání dat o poloze ramene využívat údaje získané z akcelerometru, čímž se bude odlišovat od běžných implementací, které pro tento účel používají mechanický kontakt nebo světelnou závoru. Tzn. je potřeba navrhnout jak hardware tak programové vybavení pro toto zařízení, prozkoumat možné způsoby využití akcelerometru pro tento účel, jejich výhody a nevýhody.

V kapitole 3 je nastíněna teoretická podstata fungování použitých součástek — zejména tedy akcelerometru a magnetometru. Dále je zde vysvětlen pojem MEMS a jsou zde rozebrány vlastnosti součástek v pouzdech pro povrchovou montáž.

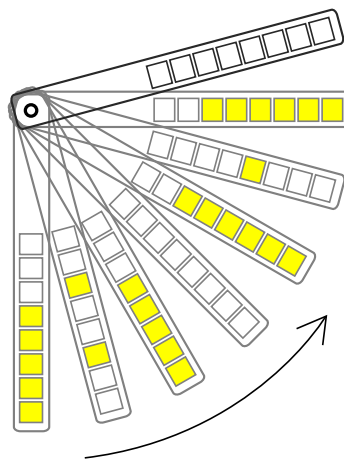
Kapitola 4 popisuje postup vývoje hardwaru a zvláště se věnuje možnostem snímání polohy ramene displeje pomocí akcelerometru, kapitola 5 se pak zabývá procesem vývoje programového vybavení. Její jádro tvoří popis řešení problému časování zobrazování a její součástí je i popis prováděných testů a jejich výsledků.

Kapitola 2

Princip zobrazování

Rotační displej je zařízení umožňující zobrazení textu nebo i grafiky pomocí otáčejícího se ramene, nebo několika ramen, na němž jsou v řadě umístěny svítící body, například svítivé diody. Je-li svit těchto bodů vhodně řízen a je-li s ramenem otáčeno dostatečnou rychlostí, pak je možné tímto způsobem díky nedokonalosti lidského vidění vytvořit zdánlivě stabilní obraz. Tento princip je na území Spojených států amerických chráněn od roku 2005 patentem [12], z něž byl přejat i zde uvedený popis.

Svítící body se pohybují po kružnici a tvoří tak mezikruží, v němž se obraz objeví (viz obrázek 2.1). Samozřejmě je možno body klást rovnou od středu otáčení – pak bude zobrazovací oblast kruhová. Při pohledu shora, tzn. kolmo na rovinu, v níž se rameno otáčí, pak pozorovatel vidí obraz.



Obrázek 2.1: Princip činnosti rotačního displeje. Rameno se otáčí kolem středu ve směru šipky. Je znázorněno několik kroků při zobrazení nápisu „AHOJ“.

Body lze taktéž umístit kolmo k rameni; potom se obraz objeví nikoliv na mezikruží, ale na části válcové plochy. V tomto případě je obraz pozorován ze strany, čili pozorovatel se dívá rovnoběžně s rovinou otáčení ramene.

Jelikož lidské vidění není dokonalé a rameno s body se pohybuje vysokou rychlostí, pozorovateli se obraz zdá stabilní, i když je ve skutečnosti v jeden okamžik zobrazován pouze jeden jeho sloupec.

Aby bylo možné svit bodů správně časovat, je potřeba zjišťovat polohu ramene. Běžné implementace pro tento účel využívají většinou mechanický kontakt nebo světelnou závoru.

Tato řešení však vyžadují, aby bylo rameno připevněno na základnu, která má na sobě připevněn nějaký statický prvek (jeden z dvojice kontaktů nebo jednu část světelné závory).

Zařízení vyvíjené v rámci této práce využívá pro zjišťování polohy ramene akcelerometr doplněný magnetometrem. Důvody využití tohoto způsobu snímání polohy jsou rozebrány v podkapitole 4.1.3. Výhodou tohoto řešení je, že zařízení se nemusí spoléhat na připevnění k základně, ale je možné ho připevnit na téměř jakýkoliv rotující objekt.

Kapitola 3

Princip fungování klíčových komponent

V zadání práce je požadováno, aby bylo užito MEMS akcelerometru v pouzdře pro povrchovou montáž. Proto bude v této kapitole popsána jeho funkce a funkce MEMS magnetometru, který byl použit z důvodů popsaných dále. Také zde bude vysvětleno, co zkratka MEMS znamená a budou zde popsány vlastnosti součástek v pouzdrech pro povrchovou montáž a jejich rozdíly oproti součástkám v pouzdrech s drátovými vývody.

3.1 Pouzdra součástek pro povrchovou montáž

Součástky pro povrchovou montáž se od klasických součástek odlišují zejména způsobem, jakým se připevňují na desku plošných spojů. Klasické součástky se po vytvarování vývodů do požadovaného tvaru montují do prokovených nebo neprokovených otvorů a následně jsou ze strany plošných spojů připájeny. Oproti tomu součástky pro povrchovou montáž (Surface Mounted Devices – SMD) se pájejí přímo na povrch desky.

Technika povrchové montáže (Surface Mount Technology – SMT) nabízí oproti klasickému přístupu několik výhod. Zejména je možné zmenšit rozměry součástek, od čehož se odvíjí menší rozměry celé desky plošných spojů, možnost osadit více součástek na jednotku plochy nebo možnost dosažení vyšších pracovních frekvencí součástek díky kratším přívodům. Také osazování desky plošných spojů pomocí automatů je jednodušší [15].

3.2 MEMS

MEMS je zkratka termínu „mikroelektromechanický systém“ (v anglickém originále micro-electromechanical system). Jakékoliv zařízení obsahující součásti velikosti od 1 μm do 1 mm, které fungují jako stroje nebo vykonávají elektromechanické funkce, spadá do kategorie MEMS [10].

Existují různé druhy MEMS zařízení, od poměrně jednoduchých, které nemají žádné pohyblivé součásti, až po velice složité, které mají pohyblivých součástí více. Podstatnou vlastností MEMS je pouze to, že alespoň některé součásti zařízení mají nějakou mechanickou funkčnost, ať už jsou tyto součásti pohyblivé nebo ne [13].

MEMS spadají do širší skupiny mikrosystémů, které obsahují v jednom pouzdře různé druhy mikrosenzorů a miniaturních výkonných částí společně s obslužnými integrovanými obvody řídicími činnost těchto zařízení, provádějícími převody a zpracování signálů a další

funkce. Od mikrosystému se očekává provádění komplexních funkcí, které se nemusí nutně omezovat na ty elektromechanické povahy [10].

Označení MEMS je používáno zejména ve Spojených státech amerických; v ostatních částech světa jsou tato zařízení označována často jako „Microsystems Technology“ nebo „micromachined devices“ [13]. Mezi komerčně dostupné MEMS mikrosenzory patří například různé optické senzory, snímače tlaku, teploty a jiných fyzikálních veličin, senzory pro detekci chemikálií apod. Do kategorie MEMS miniaturních výkonných součástí spadají například mikropumpy a mikroventily, mikrooptické systémy (čočky, modulátory, ...) a mnoho dalších; využití MEMS je velice široké [10].

3.3 Akcelerometr

Akcelerometr je součástka pro měření zrychlení, tzn. změny rychlosti v závislosti na čase. Zrychlení je vektorová veličina, čili má velikost a směr. Akcelerometry mají široké využití; v dnešní době se prosadily například jako vstupní zařízení v mobilních telefonech [8]. Pomocí akcelerometru lze měřit vibrace, otřesy nebo třeba náklon objektu [17].

Fungování akcelerometrů bývá založeno na různých principech podle volby citlivého prvku [17]. Nebudou všechny popsány, jelikož to není účelem této práce; podrobněji bude rozebrán jen jeden, který je využit v akcelerometru použitém v této práci. Popis principu fungování použitého akcelerometru je převzat z jeho katalogového listu [5], není-li uvedeno jinak.

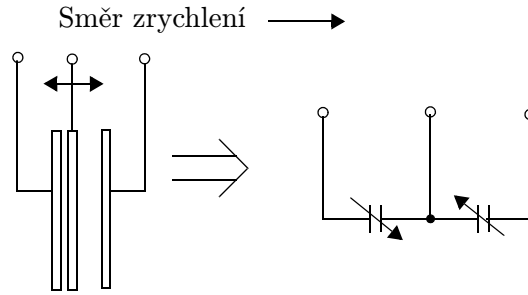
Námi použitý akcelerometr (Freescale MMA7260, pro více informací viz [4]) pracuje na principu snímání změn kapacity svých citlivých prvků při zrychlení. Tento citlivý prvek se skládá ze tří elektrod – dvou pevných okrajových a jedné středové pohyblivé. Středová elektroda je připevněna k centrálnímu závaží (v originále „sensing mass“), které se vlivem setrvačných sil působících při zrychlování a zpomalování pohybuje a elektrodu s sebou unáší (viz obrázek 3.1) a tím se mění její vzdálenost od okrajových elektrod. Takto uspořádané elektrody se chovají jako dva deskové kondenzátory. Jelikož kapacita deskového kondenzátoru závisí podle vzorce 3.1 přejatého z [14] mimo jiné i na vzdálenosti jeho desek od sebe a tato vzdálenost se v závislosti na zrychlení mění, mění tyto dva kondenzátory svou kapacitu také v závislosti na zrychlení.

$$C = \frac{\varepsilon S}{d} \quad (3.1)$$

Pomocné obvody akcelerometru měří kapacitu každého z této dvojice kondenzátorů a jejich rozdíl převádí na napětí, které odpovídá velikosti měřeného zrychlení. Toto napětí je pak výstupem akcelerometru. Jelikož je každá z těchto měřících částí citlivá pouze ve směru, který je kolmý k jejím elektrodám, obsahuje akcelerometr těchto měřících částí více a různě orientovaných, aby bylo možno provádět měření ve více osách.

3.4 Magnetometr

Pomocí magnetometru můžeme změřit magnetickou indukci v určitém místě. Stejně, jako v případě zrychlení, je i magnetická indukce vektorová veličina. Magnetometrů existuje mnoho druhů a jsou založeny na různých principech. Blíže bude popsán jeden z nich, založený na jevu zvaném TMR – „Tunnelling Magnetoresistance“ [11], protože se jedná o princip použitý v magnetometru (Freescale MAG3110, pro více detailů viz [3, 6]) využitým v této



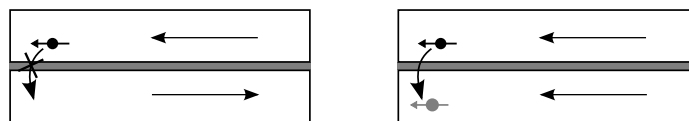
Obrázek 3.1: Zjednodušený model citlivého prvku kapacitního akcelerometru. Je znázorněno uspořádání elektrod a vliv zrychlení na polohu středové elektrody. Obrázek byl převzat z katalogového listu akcelerometru [5].

práci [18]. Další popis principu magnetometru je přejat z [11], není-li v textu uvedeno jinak.

Součástky pracující na principu TMR mění svůj elektrický odpor v závislosti na magnetické indukci. Skládají se ze tří hlavních součástí – dvou vodivých magnetických vrstev oddělených tenkou vrstvičkou izolantu. Vlivem kvantového tunelování přecházejí elektrony skrz vrstvičku izolantu z jedné magnetické vrstvy do druhé. Obtížnost tohoto přechodu je ovlivněna úhlem, který spolu svírají vektory magnetické indukce magnetických vrstev. Jsou-li tyto vektory rovnoběžné a souhlasně orientované, mohou elektrony procházet z jedné vrstvy do druhé nejsnadněji. Naopak, pokud mají vektory opačný směr, elektrony nemohou přecházet, jelikož jejich spin neodpovídá spinu, který je potřebný pro vstup do druhé vrstvy. Tento jev je také znám jako „spin-dependent tunnelling“ (SDT), viz obrázek 3.2.

Jedna magnetických z vrstev má stálou magnetizaci, druhá ji má proměnnou. V klidovém stavu, pokud není přítomno žádné vnější magnetické pole, je vektor magnetické indukce vrstvy s proměnnou magnetizací kolmý na vektor magnetické indukce vrstvy se stálou magnetizací.

V přítomnosti magnetického pole, jehož magnetická indukce má stejný směr, jako osa, ve které je součástka citlivá, a která je rovnoběžná s magnetickou indukcí pevně zmagnetizované vrstvy, se zmenšuje úhel, který svírají vektory magnetické indukce obou vrstev a snižuje se tak elektrický odpor součástky. Pole, jehož magnetická indukce má opačný směr, tento úhel naopak zvětšuje a tím se zvyšuje i odpor součástky.



Obrázek 3.2: Znázornění principu SDT (potažmo TMR), obrázek nakreslen podle [11]. Na obrázku vlevo je znázorněna situace, kdy má součástka největší elektrický odpor, na obrázku vpravo potom situace opačná. Jsou zobrazeny vektory magnetické indukce obou vrstev a spin elektronu, který se pokouší prorazit izolační vrstvičku.

Je-li užito tří výše popsanych součástek, jedné pro každou ze tří os souřadného systému, je možné zjistit orientaci vektoru magnetické indukce magnetického pole v prostoru vztáženou k souřadnému systému magnetometru.

Magnetometr má využití v celé řadě aplikací, například v navigačních systémech, digitálních kompasech, herních ovladačích nebo třeba v mobilních telefonech.

Kapitola 4

Vývoj hardwaru

V této kapitole budou rozebrány požadavky, které vyplývají ze zadání této bakalářské práce, případně z osobních konzultací a jednotlivé etapy vývoje hardwaru rotačního displeje.

4.1 Analýza a specifikace požadavků

Jak již bylo zmíněno v předchozím textu, předmětem práce je rotační displej. Tento se skládá z několika základních neopomenutelných částí. Základním kamenem jsou ony svítící body zmiňované v kapitole 2. Dále je potřeba svit těchto bodů nějakým vhodným způsobem řídit, nejlépe pomocí programu vytvořeného pro tento účel. Pro potřeby řídicího algoritmu je potřeba zajistit snímání aktuální polohy otočného ramene z důvodu správného časování svitu bodů displeje. Je také nutné, aby zařízení poskytovalo rozhraní pro zadávání vlastního obsahu, který bude displejem zobrazován. Jelikož se jedná o *rotační* displej, je potřeba zajistit jeho pohon. Jelikož se bude zařízení pravděpodobně otáčet vysokou rychlostí, bude nutné vzít v úvahu i celkové rozměry a hmotnost displeje. V poslední řadě je nutné zajistit napájení celého zařízení z vhodného zdroje.

4.1.1 LED

Za svítící body displeje byly zvoleny LED. Konkrétně bylo použito osm zelených svítivých diod firmy Harvatek, model HT-150NG-5516 [9]. Tento typ byl volen s ohledem na jeho dostupnost na fakultě a na jeho výhodné vlastnosti z hlediska zapojení (viz dále). Také bylo přihlédnuto k tomu, že jsou, jak vyplynulo z konzultace s vedoucím práce, s tímto modelem diod v mnoha projektech dobré zkušenosti.

Tento počet diod nebyl zvolen náhodou, takto bude využit celý osmibitový vstupně výstupní port MCU. Navíc při námi zvolené velikosti napájecího napětí bude možné diody připojit přímo na port MCU bez potřeby dalších součástek, jako jsou budiče nebo rezistory, jelikož nejvyšší celkový proud, který jimi bude při tomto napájecím napětí protékat, nebude vyšší, než maximální povolený. Stejně tak proud protékající portem mikrokontroléru bude v mezích daných jeho katalogovým listem. Toto zapojení je tedy výhodné z hlediska malého počtu použitých součástek a tedy i malých celkových rozměrů a malé hmotnosti přístroje. Jelikož zařízení bude rotovat velkou rychlostí, musí být tyto parametry také brány v úvahu.

4.1.2 Pohon

Požadavky na použitý pohon nejsou v zadání přímo specifikovány, nicméně z osobní konzultace vyplynulo, že by výsledné zařízení mělo být maximálně univerzální a nezávislé na použitém pohonu. Byl vysloven i záměr vyzkoušet možnost otáčet vhodně upevněným displejem přímo v ruce.

Bude tedy potřeba podřídit design celého zařízení těmto požadavkům, ať už se bude jednat o vyvážení, pro případ, že bude displej připevněn např. k hřídeli motoru, vhodnou hmotnost pro případ uchycení k závěsu a otáčení v ruce nebo o počet a rozmístění montážních otvorů na desce plošných spojů, aby bylo možné displej připevnit na téměř jakýkoliv otáčející se objekt.

4.1.3 Snímání polohy a časování

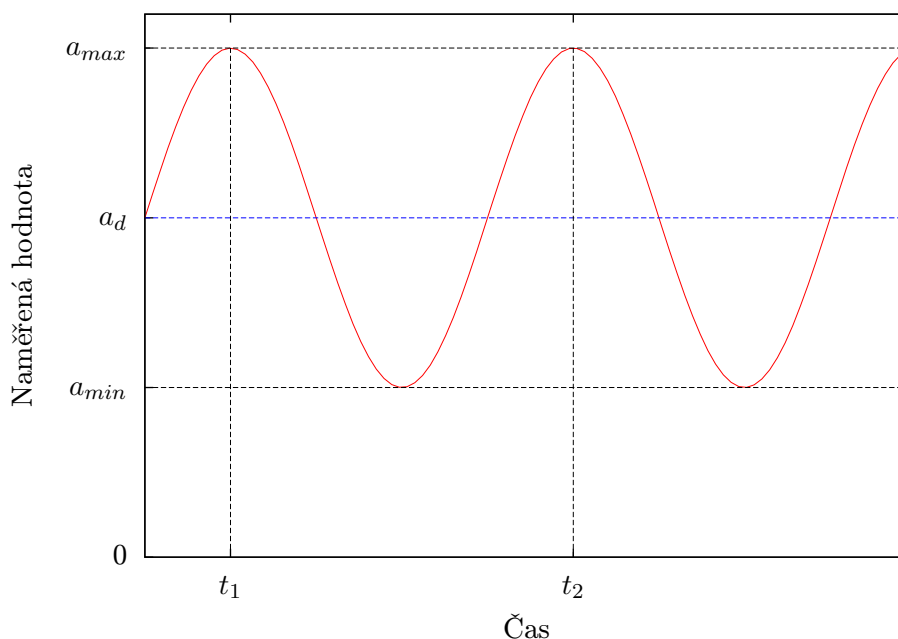
Zadání klade požadavek na využití akcelerometru. Na osobní konzultaci byl tento požadavek blíže specifikován. Konkrétně by měl být pro snímání polohy a časování využit sinusový signál, který bude při otáčení akcelerometr generovat – viz obrázek 4.1.

Tento sinusový průběh je zapříčiněn tím, že jak se rameno otáčí, mění svou polohu vůči gravitačnímu poli Země, takže bude-li se otáčet ve svislé rovině, bude se k dostředivému zrychlení způsobenému jeho rotačním pohybem vektorově přičítat tíhové zrychlení. Jelikož akcelerometr dokáže změřit pouze velikost složky zrychlení v daném směru, bude mít jeho výstupní signál v ose rovnoběžné s osou ramene sinusový průběh. Tento signál bude mít několik vlastností využitelných pro zjištění polohy ramene v prostoru.

- Extrémy tohoto signálu budou označovat nejvyšší a nejnižší pozici ramene. Tohoto lze s výhodou využít pro časování svitu diod. V odkazovaném obrázku jsou tyto extrémy označeny jako a_{min} a a_{max} .
- Délka jeho periody a tedy i frekvence budou záviset na úhlové rychlosti otáčení, potažmo na jeho periodě. V obrázku je jedna perioda ohraničena body t_1 a t_2 .
- Posunutí základní sinusovky průběhu po ose y bude záviset na velikosti dostředivého zrychlení (v obrázku a_d). Známe-li úhlovou rychlost otáčení (viz předchozí bod), lze vypočítat poloměr otáčení displeje.
- Rozdíl maxima a minima tohoto signálu bude záviset na sklonu roviny otáčení displeje k vektoru tíhového zrychlení.

V ose kolmé na osu otočného ramene bude mít výstup akcelerometru taktéž sinusový signál, který bude mít podobné vlastnosti, jako signál pro osu rovnoběžnou s osou ramene, jen nebude posunut o velikost dostředivého zrychlení a bude oproti signálu osy rovnoběžné s osou ramene fázově posunut o čtvrt periody. Budou-li se průběhy těchto signálů protínat, bude možné tuto skutečnost snadno detekovat pomocí analogového komparátoru a využít pro časování svitu LED.

Poslední vlastnost zmiňovaná ve výše uvedeném výčtu je ale tak trochu dvojsečná zbraň. Sice podle ní můžeme odhadnout sklon, ale bude-li se úhel sevřený rovinou, v níž se displej otáčí, a vektorem tíhového zrychlení gravitačního pole Země blížit 90° , budou rozdíly extrémů signálu natolik malé, že z něj nebude možné odvozovat polohu otočného ramene. V tomto případě bude možné pomocí *jednoho* akcelerometru umístěného *v ose* ramene zjistit pouze velikost dostředivého zrychlení, což samo o sobě nestačí, jelikož vezmeme-li v úvahu možnost, že bude displej otáčen v ruce, nebude předem znám poloměr otáčení, aby bylo



Obrázek 4.1: Předpokládaný idealizovaný průběh výstupního signálu akcelerometru s vyznačenými charakteristikami.

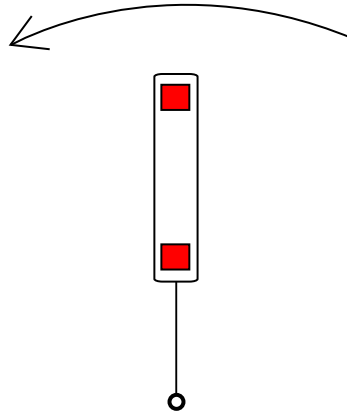
možné pro potřeby časování zobrazení spočítat periodu otáčení, ani nebude možné signál využít k odvození polohy jiným způsobem.

Proto byly uvažovány tři další možnosti snímání polohy, které budou rozebrány dále.

Dva akcelerometry

Tato možnost počítá s využitím dvou akcelerometrů, které by byly umístěny na zařízení v ose otočného ramene (viz obrázek 4.2). Zároveň by byly co nejdále od sebe. Potom by z podílu jejich hodnot bylo možné určit poloměr otáčení ramene, což by spolu s hodnotou dostředivého zrychlení umožnilo vypočítat úhlovou rychlost a periodu otáčení v případě, kdy by se displej otáčel ve vodorovné poloze a nebylo by možné určit tyto veličiny ze sinusového průběhu signálu produkovaného akcelerometrem. Průběh hodnot tohoto podílu je znázorněn na obrázku 4.3.

Tento průběh je dán vztahem, který bude nyní odvozen. Budiž d vzdálenost akcelerometrů od sebe na otočném rameni displeje, r_1 vzdálenost středu akcelerometru, který je blíže středu otáčení, od tohoto středu (čili jeho poloměr otáčení). Tento akcelerometr budiž nazván prvním akcelerometrem. Jím naměřená hodnota dostředivého zrychlení budiž a_{d_1} , jeho obvodová rychlost v_1 . Hodnota dostředivého zrychlení naměřená druhým akcelerometrem budiž a_{d_2} a jeho poloměr otáčení r_2 a jeho obvodová rychlost v_2 . Rozměry akcelerometrů jsou zanedbány. Je potřeba zjistit závislost poloměru otáčení prvního akcelerometru na naměřených hodnotách dostředivého zrychlení.



Obrázek 4.2: Uspořádání pro snímání polohy pomocí dvou akcelerometrů umístěných v ose otočného ramene. Je znázorněno uchycení displeje k závešu a poloha obou akcelerometrů (červené čtverečky). Šipka reprezentuje směr otáčení.

Pro potřeby odvození budiž:

$$\begin{aligned} r_1 &= x \\ r_2 &= x + d \end{aligned}$$

Oba akcelerometry se budou otáčet se stejnou periodou, pro kterou platí:

$$T = \frac{2\pi r_1}{v_1} = \frac{2\pi r_2}{v_2}$$

Pro dostředivé zrychlení platí mimo jiné následující vztah:

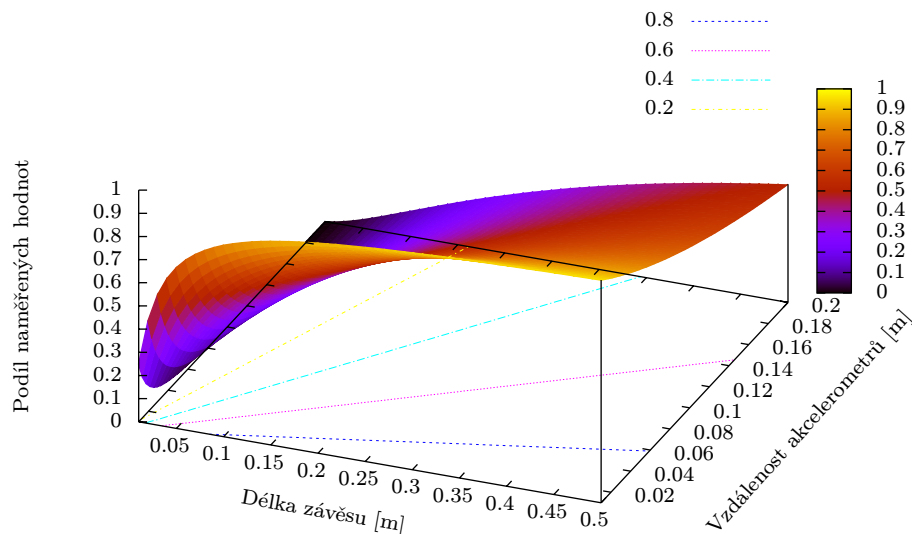
$$a_{di} = \omega^2 r_i = \frac{v_i^2}{r_i} \Rightarrow v_i = \sqrt{a_{di} \cdot r_i} \mid i \in \{1, 2\}$$

Po dosazení tohoto vztahu pro rychlost do předchozího vztahu pro periodu, je po několika úpravách výsledkem následující vztah:

$$\frac{x^2}{(x + d)^2} = \frac{a_{d1}}{a_{d2}} \quad (4.1)$$

Bohužel velikost tohoto podílu je reálné číslo spadající do intervalu $\langle 0, 1 \rangle$, což tuto možnost činí nevhodnou pro provozování s osmibitovým MCU bez podpory výpočtů s desetinnými čísly, což je případ i použité rodiny MCU. Jelikož rodina MCU HCS08, která je specifikovaná v zadání práce je závazná, nelze vyměnit MCU za takové, které by výpočty s desetinnými čísly přímo podporovalo. Výpočty s těmito čísly nejsou sice na těchto MCU nemožné, nicméně jsou časově a paměťově náročné. Tuto možnost tedy s přihlédnutím k použité rodině MCU nelze použít.

Výhodou tohoto řešení je, že nedojde k posunutí těžiště celého zařízení, jako v případě následující metody. Bohužel, jak již bylo řečeno dříve, tato metoda je nepoužitelná.



Obrázek 4.3: Závislost podílů hodnot naměřených dvěma akcelerometry na jejich vzdálenosti od sebe a na poloměru otáčení (délce závěsu, na kterém je rameno uchyceno). Průběh hodnot je dán vztahem 4.1.

Jeden akcelerometr mimo osu

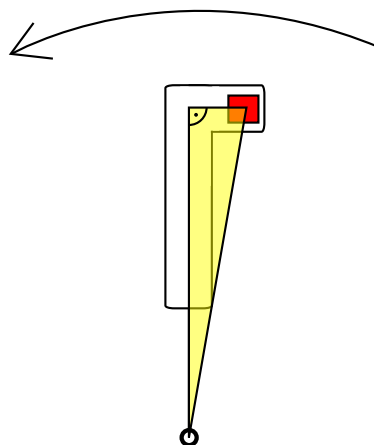
Další možností je použít jeden akcelerometr a umístit ho mimo osu ramene. Jelikož zvolený akcelerometr je tříosý a je umístěn mimo osu otočného ramene, lze změřit úhel, jež svírá vektor dostředivého zrychlení v bodě umístění akcelerometru s osou otočného ramene. Je-li spuštěna kolmice k ose ramene taková, že bude procházet akcelerometrem a je-li známa vzdálenost akcelerometru od této osy, je možné podle věty *úhel-strana-úhel* o konstrukci trojúhelníka sestavit pravoúhlý trojúhelník, jehož jeden vrchol bude ležet ve středu otáčení ramene, druhý vrchol bude ležet na akcelerometru a třetí vrchol se bude nacházet na průsečíku osy otočného ramene a kolmice k ní spuštěné z akcelerometru. Tento trojúhelník je na obrázku 4.4 žlutě zvýrazněn.

Poté lze pomocí funkce arkustangens změřeného úhlu vypočítat poloměr otáčení displeje. Konečně je-li znám poloměr otáčení a velikost dostředivého zrychlení, je možné spočítat periodu.

Toto řešení má dvě podstatné nevýhody. Za prvé akcelerometr umístěný mimo osu ramene by posunul jeho těžiště na stranu, což by vyžadovalo precizní vyvážení celého zařízení. A za druhé by se naměřený úhel měnil s poloměrem otáčení jen velmi málo, takže by odhad poloměru otáčení byl velmi nepřesný, což by působilo problémy při výpočtech periody a vedlo by to k nepřesnému časování.

Akcelerometr a magnetometr

Poslední uvažovanou možností je doplnit akcelerometr ještě magnetometrem. V polohách, kde bude využití akcelerometru nemožné z důvodů popsaných výše, bude poloha odvozována z polohy otočného ramene vůči magnetickému poli Země. Výstupní signál magnetometru



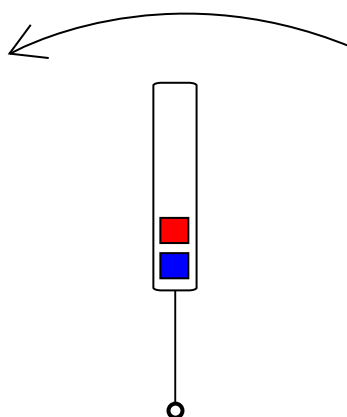
Obrázek 4.4: Snímání polohy akcelerometrem umístěným mimo osu otočného ramene. Na obrázku je zvýrazněn pravoúhlý trojúhelník, ze kterého je možno spočítat poloměr otáčení.

bude mít podobné charakteristiky, jako výše popsany signál akcelerometru (obrázek 4.1), jen vztažené k poloze k magnetickému poli Země a jeho posunutí nebude záviset na dostředivém zrychlení, ale na velikosti magnetické indukce magnetického pole Země.

Pokud se displej bude otáčet v rovině kolmé k vektoru magnetické indukce magnetického pole Země, bude výstupní signál akcelerometru stejně plochý, jako v případě akcelerometru a otáčení ve vodorovné rovině. Toto však nevadí, protože v této poloze bude možné pro snímání polohy využít akcelerometr.

Při tomto uspořádání bude možné polohu ramene odvozovat pouze z průběhů signálů produkovaných senzory, jelikož jejich extrémy budou odpovídat určitým polohám – při měření akcelerometrem budou označovat svislou polohu (ať už v horní nebo v dolní úvrati) a při měření magnetometrem zase budou označovat pozice, ve kterých je rameno orientováno severojižním směrem.

Toto řešení se jeví ze všech tří uvažovaných jako nejvýhodnější, bylo tedy zvoleno pro implementaci.



Obrázek 4.5: Rozmístění senzorů pro variantu snímání polohy pomocí akcelerometru (znázorněn jako červený čtvereček) a magnetometrem (modrý čtvereček).

4.1.4 Napájení

Při výběru vhodného způsobu napájení bylo potřeba zohlednit požadavek na maximální nezávislost zařízení na použitém pohonu. Nelze tedy spoléhat na to, že bude k dispozici základna s přívodem energie do samotné rotující části. Tato skutečnost výrazně redukuje možnosti využitelných napájecích zdrojů – z problému výběru nejvhodnějšího zdroje se tedy stává problém výběru nejvhodnějšího typu baterie.

S ohledem na dostupnost v distribuční síti se jako vhodný typ baterie jeví CR2032. Tato baterie poskytuje napětí 3V, které je vhodné, jak pro napájení mikrokontroléru, tak akcelerometru, magnetometru i použitých svítivých diod.

4.1.5 MCU

V zadání práce je specifikován požadavek na užití mikrokontroléru Freescale řady HCS08. Byl zvolen model MC9S08JM60CLH [7] v pouzdře LQFP64 zejména z důvodu jeho dostupnosti na fakultě. Tento model má také vyhovující vlastnosti z hlediska napájení – jeho pracovní napětí 2,7–5,5 V vyhovuje potřebám napájení ze třívoltové baterie.

Tento model zároveň nabízí rozhraní IIC (Inter-Integrated Circuit) vhodné pro komunikaci s magnetometrem a AD převodník a analogový komparátor pro zpracování dat snímaných pomocí akcelerometru.

Z hlediska velikosti a počtu periférií, které zůstanou nevyužity se sice nejedná o ideální řešení, ale tento nedostatek byl převážen skutečností, že jsou na fakultě dostupné přípravky s tímto mikrokontrolérem, na nichž je možné testovat vyvíjený software dříve, než bude vyroben hardware displeje.

Pro komunikaci s okolím bylo zvoleno primárně ladicí rozhraní mikrokontroléru. Jelikož zvolený MCU obsahuje modul pro komunikaci pomocí sběrnice USB, bylo zařízení navrženo i s ohledem na možné budoucí využití tohoto rozhraní, například pro zasílání zobrazovaného obsahu z počítače do displeje.

4.1.6 USB

Jak již bylo zmíněno výše, bylo rozhodnuto o využití tohoto rozhraní, zejména tedy pro možnost dalšího vývoje zařízení. USB by pro aplikaci mohlo být přínosem, jelikož se jedná o široce rozšířené rozhraní, jehož použití je uživatelsky velice přívětivé. Dalším argumentem pro zahrnutí tohoto rozhraní do návrhu byl fakt, že je podporováno přímo MCU.

Nabízí se také možnost využít napájení ze sběrnice, pokud na ni právě bude zařízení připojeno. Jelikož napětí poskytované ze sběrnice USB je 5 V a návrh celého zařízení je dimenzován na napájecí napětí 3 V, je nutné zabezpečit ochranu některých součástí před poškozením tímto vyšším napětím. Jmenovitě se jedná o akcelerometr a magnetometr, jejichž maximální napájecí napětí je 3,6 V [5, 6] a LED, které by mohly být poškozeny zvýšeným proudem, který by jimi protékal při zvýšeném napětí, nehledě na možné poškození vstupně výstupního portu mikrokontroléru. Před zvýšeným napětím z USB musí být také chráněna baterie. Způsob, jakým je tato ochrana provedena, je popsán v podkapitole 4.2.1.

Samotný mikrokontrolér se s tímto vyšším napájecím napětím dokáže vyrovnat bez problémů, jeho maximální napájecí napětí je 5,5 V [7]. Aby bylo možné modul pro komunikaci po sběrnici USB využít, je dokonce zvýšené napájecí napětí vyžadováno. Konkrétně se jedná o minimálně 3,9 V, pokud je pro napájení USB modulu využít vnitřní regulátor napětí, nebo o *přesně* 3,3 V, je-li modul napájen z externího zdroje přes vývod V_{USB33} .

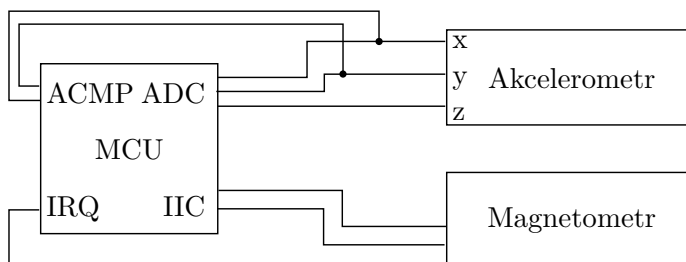
4.2 Návrh elektrického schématu

Pro návrh elektrického schématu i pro následný návrh desky plošných spojů byl použit nástroj Eagle [1] americké firmy CadSoft, jenž je k dispozici i v omezené verzi volně ke stažení. Možnosti této verze jsou omezeny následujícím způsobem:

- Rozměry desky plošných spojů jsou omezeny na maximálně 100×80 mm.
- Lze vytvářet DPS s nejvýše dvěma vrstvami spojů.
- Elektrické schéma může mít nejvýše jeden list.
- Je zakázáno její komerční používání.

Tato omezení však nejsou limitující pro naše účely. Samotné zapojení součástek vychází většinou z doporučení z jejich katalogových listů. Pro potřeby programování mikrokontroléru bylo vyvedeno jeho ladicí rozhraní. Pro komunikaci s magnetometrem byl využit i vývod externí žádosti o přerušení, jímž dá magnetometr mikrokontroléru vědět, že jsou k dispozici nová naměřená data pro přečtení. Výstupy všech tří měřících os akcelerometru jsou připojeny k AD převodníku, výstupy os x a y pak ještě ke vstupům analogového komparátoru. Jediná část, která stojí za bližší pozornost je zapojení USB.

Aby bylo možné toto rozhraní použít, bylo nutné přidat do návrhu externí krystalový oscilátor z důvodu nutnosti přesného kmitočtu hodin, který je potřeba, aby komunikace byla spolehlivá. Jako konektor byl z hlediska velikosti zvolen Mini-USB.



Obrázek 4.6: Orientační nákres propojení senzorů a MCU.

4.2.1 Ochrana součástek před zvýšeným napětím z USB

Jak již bylo zmíněno výše, aby bylo možno využít napájení ze sběrnice USB vyšším napětím, než které poskytuje baterie a které je nutné pro správnou činnost USB modulu mikrokontroléru, bylo nutné vyřešit ochranu ostatních součástek před poškozením tímto zvýšeným napětím. Baterie, magnetometr a akcelerometr jsou chráněny pomocí P-channel MOSFETu, který je při odpojení USB otevřený a umožňuje tedy napájení mikrokontroléru z baterie. Při připojení USB se tento tranzistor uzavře a zabráni tak průniku vyššího napětí k baterii a zmiňovaným součástkám. K tomuto účelu byl zvolen elektrickým polem řízený tranzistor namísto diody, jelikož úbytek napětí, který se na něm objeví, bude minimální v porovnání s úbytkem napětí, který by se objevil na diodě. Je potřeba, aby tento úbytek byl co nejmenší, jelikož napětí baterie je pouze 3 V a minimální pracovní napětí MCU je 2,7 V. Skutečnost, že úbytek napětí na diodě se pohybuje v řádech několika desetín voltu, zatímco na otevřeném MOSFETu se pohybuje v řádech setin, z něj činí oproti diodě mnohem vhodnější variantu.

Ochrana LED bude řešena softwarově. Při připojení USB mikrokontrolér tuto skutečnost detekuje tím, že se na jeho vstupu KBIP0 objeví vysoká logická úroveň, jelikož tento vstup bude připojen k napájecímu kontaktu USB konektoru. Bude-li tento vývod naprogramován na detekci této události, dojde při ní k vyvolání přerušení. V obslužném podprogramu tohoto přerušení budou LED zhasnuty. Obdobným způsobem budou od MCU odpojeny i akcelerometr a magnetometr. Klidová úroveň na vstupu KBIP0 bude zajištěna použitím vestavěného pull-down rezistoru a diodou, která zabrání průniku napětí z baterie na tento vstup, což by jinak způsobovalo falešnou detekci připojení USB a tedy nefunkčnost navrhovaného řešení.

4.3 Návrh desky plošných spojů

Při samotném návrhu DPS bylo zejména nutné počítat s různými možnostmi upevnění zařízení. Proto bylo na desku umístěno několik montážních otvorů. Zamýšlený účel čtyř otvorů okolo baterie je připevnění ke hřídeli motoru, otvor ve spodní části je určen pro přivázání k závěsu nebo umístění závaží pro vyvážení. Otvory v horní části jsou taktéž určeny primárně pro umístění závaží.

Jelikož se bude celé zařízení pravděpodobně otáčet vysokou rychlostí, byla při návrhu vyvíjena snaha rozložit hmotnost součástek pokud možno rovnoměrně kolem zamýšleného středu otáčení, aby při rotaci nevznikaly nežádoucí vibrace nebo aby byly minimální.

Protože chceme ověřit, zda bude zařízení použitelné i v případě, že bude uchyceno na závěsu a bude s ním otáčeno v ruce, bylo nutné zajistit, aby mělo zařízení dostatečnou hmotnost. Toto zajistí baterie, jakožto nejtěžší součástka celého návrhu. Pokud by byla hmotnost nedostatečná, je možné využít horních otvorů v desce pro připevnění dodatečných závaží.

4.4 Výroba DPS

Pomocí prostředků dostupných na fakultě byla vyrobena deska plošných spojů. Na desce bylo po výrobě odhaleno několik nedostatků:

- V jednom místě byly propojeny spoje vedoucí k vývodům akcelerometru *SLEEP* a *ZOUT*. Toto bylo způsobeno chybou v návrhu, kde byly spoje uloženy příliš blízko u sebe a fréza při výrobě nedokázala odebrat tak malé množství materiálu, aby je od sebe oddělila.
- Otvory pro vývody držáku baterie měly příliš malý průměr. Bylo tedy potřeba vývody tohoto držáku ztenčit, aby skrz otvory prošly a mohly být připájeny.
- Pokud byla do držáku vložena baterie, zkratovala ze spodní strany kolíky ladicího rozhraní MCU.

Všechny tyto nedostatky byly v dokumentaci DPS opraveny. Zkratované spoje byly oddáleny na dostatečnou vzdálenost, otvory pro vývody držáku baterie byly zvětšeny na správnou velikost a kolíky ladicího rozhraní MCU byly posunuty k blíže k okraji DPS, aby byly umístěny mimo oblast baterie. Nicméně i deska vyrobená s těmito nedostatky se ukázala po několika ručních úpravách jako provozuschopná a dostačující pro vývoj SW. Nebylo tedy nutné zadávat výrobu upravené desky a čekat na její dokončení. Na této vyrobené desce byl přerušen spoj vedoucí ke zkratovanému výstupu *ZOUT* a kolíky ladicího rozhraní byly

ze spodní strany překryty vrstvou izolační pásky. Vývody držáku baterie byly ztenčeny obroušením tak, aby prošly skrz otvory. Při přesouvání kolíků pro ladicího rozhraní mikrokontroléru je bylo nutné otočit o 180° oproti vyrobené desce. V příloze C je zobrazena tato opravená verze s *otočeným konektorem*. Původní verze obsahující chyby, podle které byla zhotovena DPS, je přiložena na CD.

4.5 Testování HW

Po vyrobení DPS a osazení součástkami byl vyvinut program (viz příloha A), který testuje všechny její důležité součásti. Testovací sekvence se sestává (v tomto pořadí) z otestování funkčnosti krystalového oscilátoru, LED, použité osy akcelerometru, všech tří os magnetometru a otestování funkce časovače.

Jelikož při osazování součástkami nebyly k dispozici všechny součástky, nebyl nejprve osazen tranzistor T1 chránící před zvýšeným napětím z USB, konektor USB a dioda D1 (viz schéma zapojení – obrázek C.2). Bylo jej tedy nutné přemostit, aby bylo možné pokračovat ve vývoji softwaru i bez těchto součástek. Toho bylo dosaženo zkratováním vodičů vedoucích k drain a source tohoto tranzistoru.

Když dorazily chybějící součástky (T1 a D1), byly doosazeny a bylo proveden pokus o spuštění výše zmíněného testovacího programu. Bohužel po osazení tranzistoru bylo zjištěno, že úbytek napětí, který na něm vzniká je pravděpodobně příliš vysoký, ačkoliv podle propočtů při návrhu měl dosahovat nejvýše setin voltu, a zařízení nebylo schopné naběhnout. Bylo proto obnoveno přemostění tohoto tranzistoru. To má bohužel za důsledek nemožnost využití rozhraní USB v zapojení, v jakém bylo navrženo, jelikož by došlo k poškození magnetometru a akcelerometru zvýšeným napětím. Nicméně nefunkčnost USB nijak neporušuje požadavky kladené zadáním.

Kapitola 5

Vývoj softwaru

V této části práce bude popsán proces vývoje programového vybavení mikrokontroléru, problémy, které se při vývoji vyskytly, i jejich řešení.

5.1 Návrh

Jako jazyk pro vývoj programového vybavení byl zvolen jazyk C, který umožňuje programátora odstínit od některých specifik použité architektury MCU, např. umožňuje za podpory překladače jednoduše využít výpočty s většími než osmibitovými čísly, i když je zvolená architektura osmibitová. Navíc oproti jazyku symbolických instrukcí poskytuje více možností pro strukturování programu, což velmi usnadňuje vývoj a údržbu aplikace.

Program ovládající celé zařízení je rozdělen do několika modulů – modulů ovladačů periferních zařízení, modulu zajišťujícího synchronizaci zobrazení s otáčením ramene displeje a hlavního modulu, který je vstupním bodem celého programu.

Moduly ovladačů periferních zařízení mají podobné rozhraní. Zejména všechny obsahují funkce `*_init()` a `*_stop()`, které mají za úkol příslušné zařízení inicializovat, respektive ukončit jeho činnost. Dále potom obsahují funkce, která poskytují vyšší míru abstrakce při ovládání daného periferního zařízení. Modul `font` pak obsahuje definici písma displeje.

Hlavní modul má za úkol inicializaci veškerého potřebného hardware při spuštění programu a dále obsahuje nekonečnou hlavní programovou smyčku, která periodicky volá metodu `syn_tick()`, která je vstupním bodem modulu, který se stará o synchronizaci svitu LED s otáčením ramene displeje.

5.2 Časování a zobrazování

Správné načasování svitu LED je stěžejní částí celého zobrazování pomocí tohoto typu displeje, bez něj by bylo nemožné cokoliv zobrazit. Časování je implementováno v modulu `synchronizer` a sestává se ze dvou stavových automatů. První z nich (viz obrázek 5.1) provádí samotnou synchronizaci a výpočty pro účely časování, druhý (obrázek 5.2) slouží k přepínání mezi akcelerometrem a magnetometrem coby zdroji dat pro první stavový automat. Toto přepínání je nutné, protože při naklánění displeje se postupně snižuje amplituda signálu, který je výstupem akcelerometru, až se ve vodorovné poloze stane zcela konstantním a není možné jej pro potřeby časování využít.

Vstupním bodem pro oba tyto stavové automaty je již zmiňovaná metoda `syn_tick()`, která je periodicky volána z hlavní programové smyčky. V této metodě jsou provedeny po

řadě tyto kroky:

1. Načtení hodnoty z aktuálně zvoleného zdroje dat (z akcelerometru nebo magnetometru).
2. Načtení aktuálního času z časovače.
3. Ověření, zda zjištěná doba, za kterou se displej jednou otočí, nepřekračuje meze, které byly předem vypočítány. Pokud tato zjištěná doba v těchto mezích není, je proveden přechod automatu do stavu *Reset*.
4. Je zavolána funkce, která byla předána při inicializaci modulu jako parametr `tick_callback` funkce `syn_init()`. Tento parametr je v při inicializaci modulu nastaven na funkci z modulu `display`, která má za úkol samotné ovládání svitu LED.
5. Jsou vypočteny nová hodnota doby, která připadá na jednu otočku displeje, a hodnoty z ní odvozené, zejména čas potřebný na zobrazení jednoho segmentu.
6. Je provedena obsluha aktuálního stavu synchronizačního automatu. Případný přechod mezi stavy je součástí této obsluhy.
7. Je zavolána funkce, která implementuje automat starající se o přepínání mezi akcelerometrem a magnetometrem.

5.2.1 Výpočet časů

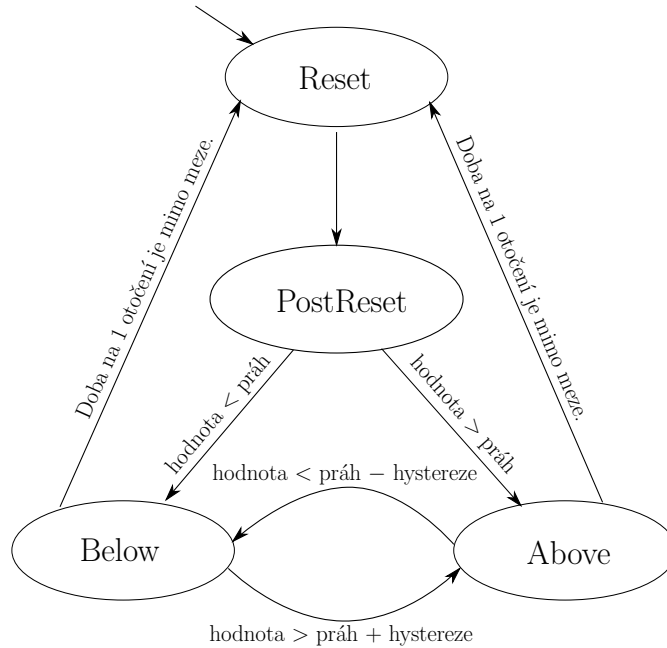
Princip fungování „synchronizačního“ stavového automatu je následující. Automat v každém svém stavu sleduje hodnotu z aktuálně zvoleného zdroje (viz položka č. 1 z předchozího výčtu) a udržuje v paměti její maximum a minimum. Z těchto zjištěných extrémů potom vypočítá jejich aritmetický průměr – práh, který určuje hranici mezi stavy *Above* a *Below* (viz obrázek 5.1). Aby nedocházelo k rychlému přepínání mezi těmito stavy vlivem vibrací, v případě že je použit akcelerometr, nebo rušení, to v případě magnetometru, byla experimentálně zvolena hodnota označená na odkazovaném obrázku jako hystereze. Tato hystereze posouvá výše hranici pro přepnutí do stavu *Above*, respektive níže pro přepnutí do stavu *Below*. Tyto zákmity jsou touto hysterezí téměř úplně eliminovány. Tato eliminace tohoto jevu je nutná, jinak by měl zásadně špatný vliv na čitelnost zobrazovaného textu, vlivem velkého kolísání vypočtených časů zobrazení jednotlivých segmentů displeje, lze jej tedy použít jako pevný referenční bod, od kterého se bude odvíjet zobrazování.

Ke zjištění samotné doby otočení displeje a k výpočtu z ní odvozené doby zobrazení jednoho jeho segmentu dochází při přechodu ze stavu *Above* do stavu *Below*. Tento přechod je také referenčním bodem, od kterého se začíná zobrazování. Aby se ještě více zmírnilo kolísání těchto hodnot je nová hodnota času za jedno otočení počítána jako aritmetický průměr staré a nově změřené hodnoty. Tyto hodnoty jsou zpřístupněny ostatním částem programu prostřednictvím globálních proměnných. K tomuto přechodu dojde, jak vyplývá z charakteristik signálu uvedených v podkapitole 4.1.3, právě jednou za otáčku displeje. Proto je při provádění tohoto přechodu volána také funkce, která započne zobrazování další obrátky displeje zase od začátku.

Aby nedocházelo ke ztrátě synchronizace zobrazování s otáčením, pokud se budou extrémní signály ze zvoleného zdroje k sobě přibližovat — např. při naklánění displeje — obsahuje tento automat jakousi pojistku. Když je zjištěno, že je změřená doba na jedno otočení displeje příliš dlouhá nebo naopak příliš krátká nebo nedošlo-li po dlouhou dobu

k překročení prahové hodnoty, ať už jedním nebo druhým směrem, dojde k přechodu do stavu *Reset*, kde jsou znovu inicializovány proměnné obsahující hodnoty extrémů signálu, práh i vypočtené časy. Proměnné s extrémů jsou inicializovány na aktuálně naměřenou hodnotu, je vypočítán nový práh (toto se děje v každém stavu, jak bylo zmíněno výše) a je proveden přechod do stavu *PostReset*. V tomto stavu už bude k dispozici další naměřená hodnota, ta je porovnána s prahem a podle toho je proveden přechod do stavu *Above* nebo *Below*.

Pokud dojde k zastavení displeje, automat přestane přecházet mezi stavy *Above* a *Below*, což má za následek zastavení zobrazování textu, ale bude se neustále vracet do stavu *Reset*.



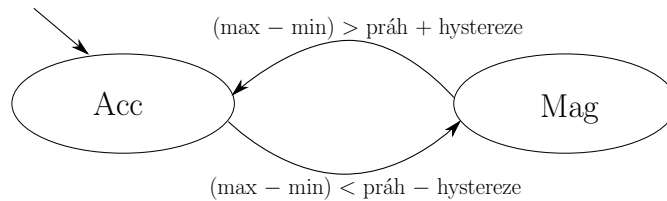
Obrázek 5.1: Graf stavového automatu použitého pro synchronizaci svitu LED s rotací displeje.

5.2.2 Přepínání akcelerometru a magnetometru

Automat přepínající zdroj dat pro synchronizaci a časování z akcelerometru na magnetometr a obráceně je jednodušší a je tvořen pouze dvěma stavy, viz obrázek 5.2. Opět udržuje extrémů naměřených hodnot, tentokrát ale čte pouze z akcelerometru. Implementace je provedena tak, že se po uplynutí určitého časového okamžiku začnou tyto změřené extrémů uměle přibližovat k sobě, nebudou-li od sebe opět oddáleny naměřením nové hodnoty. Klesne-li rozdíl těchto extrémů pod práh, který byl experimentálně určen, dojde k přepnutí zdroje dat pro časování svitu LED na magnetometr.

Práh pro toto přepnutí byl zvolen tak, aby byl preferován akcelerometr před magnetometrem, protože je zdrojem spolehlivějších dat, jelikož není tak ovlivňován okolním rušením a dokáže poskytnout více vzorků za sekundu, což má příznivý vliv na stabilitu zobrazovaného textu.

Do procesu přepínání byla opět zavedena hysterese, aby nedocházelo k rychlému přepínání z akcelerometru na magnetometr a obráceně vlivem vibrací.



Obrázek 5.2: Graf stavového automatu, který přepíná zdroj dat pro synchronizaci mezi akcelerometrem a magnetometrem. Stav označený jako *Acc* odpovídá stavu, kdy je použit jako zdroj dat pro časování akcelerometr, stav *Mag* potom odpovídá stavu, kdy je použit magnetometr.

5.2.3 Zobrazování segmentů displeje

Pro potřeby zobrazování je displej rozdělen na 120 částí – segmentů kolmých na osu otáčení. Tento počet byl určen experimentálně tak, aby byl zobrazovaný text dobře čitelný, tzn. aby znaky nebyly ani příliš úzké ani příliš široké. Zobrazování tedy probíhá po sloupcích, nikoliv po řádcích.

Za veškeré zobrazování je zodpovědný modul `display`. Vstupním bodem tohoto modulu je funkce `disp_tick()`. Tato funkce je volána periodicky z funkce `syn_tick()` zmíněné výše při každém průchodu hlavní programovou smyčkou. Tato funkce se dotáže na tzv. *timer channel flag*, což je příznak ve stavovém registru kanálu časovače, který indikuje, že časovač dosáhl hodnoty specifikované v registru jednoho z jeho kanálů, který je využit pro potřeby časování. Není-li tento příznak nastaven, funkce nedělá nic a její volání končí. Je-li tento příznak nastaven, což znamená, že se má začít zobrazovat další segment displeje, potom tato funkce tento příznak vynuluje a nastaví do registru kanálu časovače hodnotu, která je součtem aktuální hodnoty čítače časovače a hodnoty, která představuje dobu potřebnou na zobrazení jednoho segmentu. Tato doba je uložena v jedné z globálních proměnných exportovaných modulem `synchronizer`. Tím naplňuje další nastavení příznaku časovače na čas, kdy se má začít zobrazovat další segment. Poté dojde ke zjištění obsahu segmentu, který má být zobrazen a jeho zobrazení na LED. Nakonec jsou inkrementovány hodnoty proměnných, které odpočítávají zobrazené segmenty a znaky.

Modul časovače při nastavení příznaku ve stavovém registru kanálu umožňuje vyvolat žádost o přerušení. V obslužné rutině tohoto přerušení by bylo možné provádět výše popsané zobrazování, bohužel tuto možnost nelze využít. Důvodem je to, že čtení dat z magnetometru probíhá po sběrnici IIC, jejíž obsluha využívá také žádosti o přerušení. Pokud by došlo k žádosti o přerušení od modulu sběrnice IIC v průběhu obsluhy žádosti o přerušení z modulu časovače, kdy jsou ostatní přerušení maskována, byla by žádost od modulu sběrnice IIC obsloužena až po skončení obslužné rutiny, což by mělo za následek narušení časování při přenosu.

Toto narušení časování by teoreticky nemuselo být kritické, bohužel testování ukázalo, že kritické je. Setkají-li se tyto dvě žádosti o přerušení výše popsaným způsobem, vede to k úplnému zablokování komunikace s magnetometrem. Z tohoto důvodu byla zvolena implementace využívající polling namísto implementace využívající žádost o přerušení modulu časovače a žádosti o přerušení byly vyhrazeny obsluze sběrnice IIC.

5.2.4 Alternativní způsob zjišťování časů otáčení

Jako alternativa k výše popsanému stavovému automatu byla testována možnost pro potřeby časování využít analogový komparátor, který dokáže mezi sebou porovnat dvě napětí. Jak je vidět ze schématu zapojení, jsou výstupy z os x a y akcelerometru připojeny jak k AD převodníku, tak ke zmiňovanému komparátoru. Hlavní myšlenka tohoto řešení byla taková, že jelikož jsou osy x a y na sebe kolmé, budou mít průběhy jejich signálů stejný průběh, jen budou posunuty o čtvrt periody. Tím pádem se budou průběhy těchto signálů pravidelně protínat, což lze pomocí komparátoru velice jednoduše detekovat.

Výhodou tohoto řešení by bylo, že by nebylo nutné neustále vzorkovat signál z akcelerometru a MCU by mohl být většinu času v nečinnosti, ať už ve stavu *Wait* nebo v některém ze stavů *Stop*, což by mělo za důsledek snížení spotřeby celého zařízení. Navíc by se neprojevovaly nepříznivé jevy související se vzorkováním jako jsou různé chyby kvantizace nebo aliasing.

Jak se ale ukázalo, tato možnost má jeden nedostatek. Akcelerometr by musel být oproti realizovanému řešení na DPS natočen o 45° proti směru hodinových ručiček, aby se eliminoval vliv dostředivého zrychlení na osu x , respektive aby byl tento vliv stejný na obě osy. Bez tohoto natočení je signál z osy x oproti signálu z osy y posunut právě o hodnotu tohoto dostředivého zrychlení. Tento posun je tím větší, čím vyšší jsou otáčky displeje a již při poměrně nízkých otáčkách jsou od sebe průběhy těchto signálů vzdáleny natolik, že se přestanou protínat úplně, což znemožňuje použití komparátoru, proto tato varianta nakonec nebyla použita. Pokud by byl akcelerometr natočen, potom by se signály z obou os posouvaly stejnou měrou a protínat by se nepřestaly.

5.3 Spotřeba

Při prvotním testování byl odhalen jeden nápadný nedostatek – baterie nedokázala napájet zařízení po delší dobu a velice rychle se vybíjela (v řádu jednotek minut). Jako možná příčina těchto problémů byl identifikován možný vysoký odběr mikrokontroléru z důvodu vysoké frekvence hodinového signálu, který při testování činil 48MHz pro jádro, respektive 24MHz pro sběrnici.

Frekvence hodin sběrnice	1 MHz	2 MHz	4 MHz	8 MHz	24 MHz
Odebíraný proud	4,4 mA	5,3 mA	7 mA	10,5 mA	24 mA

Tabulka 5.1: Skutečná spotřeba zařízení měřená při napětí 3 V z externího stabilizovaného zdroje. V okamžiku měření byly zapnuty MCU, akcelerometr i magnetometr. LED byly všechny zhasnuty. Na MCU běžel program, který periodicky četl hodnotu měřenou akcelerometrem a magnetometrem.

Jádro	Sběrnice	Odběr	Režim MCG
2 MHz	1 MHz	0,8 – 1,5 mA	BLPE
8 MHz	4 MHz	4,3 – 7 mA	FBE
48 MHz	24 MHz	22 – 30 mA	PEE

Tabulka 5.2: Předpokládaná spotřeba MCU v závislosti na frekvenci jeho hodinového signálu (pouze vybrané hodnoty). Hodnoty byly převzaty z katalogového listu [7].

Aby byla tato teorie ověřena, bylo provedeno několik měření spotřeby celého zařízení při různých frekvencích hodinového signálu mikrokontroléru. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v tabulce 5.1. Zařízení bylo při měřeních napájeno z externího stabilizovaného zdroje stejnosměrného napětí o hodnotě 3V. Zjištěné hodnoty v odkazované tabulce představují celkový odběr celého zařízení ve stavu, kdy jsou aktivní akcelerometr i magnetometr a jsou z nich čteny hodnoty a LED jsou zhasnuty. Naměřené hodnoty byly v očekávaných mezích uvedených v katalogových listech – hodnoty z katalogového listu MCU jsou pro přehlednost přepsány v tabulce 5.2. K těmto hodnotám z katalogového listu je pro odhad spotřeby celého zařízení nutno připočítat i odběr akcelerometru a magnetometru, který by podle jejich katalogových listů neměl v součtu překročit 2 mA. Odběr rozsvícených LED byl měřen zvlášť a byl stanoven na cca 7 mA při všech osmi diodách rozsvícených. Dále byl z těchto měření jasně patrný výrazný vliv frekvence hodinového signálu mikrokontroléru na odběr proudu z baterie.

Poté byla provedena série orientačních měření, které měly zjistit, zda je baterie při výše zmíněné konfiguraci schopna dodávat stabilně požadovaný proud při minimálním poklesu napětí. Jejich výsledky jsou shrnuty v tabulce 5.3. Tato měření ukázala, že napětí baterie při odběru větším než 15 mA klesá pod 2,7 V, což je podle katalogového listu MCU jeho minimální pracovní napětí. Jako příčina problému s napájením byl tedy určen příliš velký pokles napětí baterie při vyšším odběru.

Bylo tedy nutné snížit spotřebu zařízení. Jelikož akcelerometr, magnetometr ani LED neposkytují příliš prostoru pro optimalizaci jejich spotřeby, bylo nutné snížit frekvenci hodin MCU a tím i jeho spotřebu na únosnou hranici. Bylo tedy třeba zjistit, jaká frekvence hodin je dostačující pro správnou funkci displeje. Za prvé je nutné zajistit potřebnou vzorkovací frekvenci pro signál z akcelerometru. V tabulce 5.4 jsou uvedeny počty taktů hodin AD převodníku za sekundu, které jsou potřebné pro změření jednoho vzorku na jeden segment displeje.

Odebíraný proud	0 mA	10 mA	15 mA	30 mA	20 mA	25 mA	0 mA
Napětí baterie	3 V	2,8 V	2,73 V	2,6 V	2,66 V	2,62 V	2,86 V

Tabulka 5.3: Napětí baterie v závislosti na proudu z ní odebíraném. Hodnoty jsou v tabulce uvedeny v takovém pořadí, v jakém byly měřeny a jsou pouze orientační. Při proudu 25 mA a více mělo napětí baterie tendenci neustále klesat. Měření při nulovém odběru bylo provedeno opakovaně, aby bylo zřetelné, jak moc se baterie v průběhu měření vybila.

		Počet segmentů displeje		
		240	180	120
Otáčky za sekundu	50	240 000	180 000	120 000
	40	192 000	144 000	96 000
	30	144 000	108 000	72 000
	20	96 000	72 000	48 000

Tabulka 5.4: Počet taktů hodin za 1 s, který je potřebný, aby bylo pomocí AD převodníku možné změřit jeden vzorek na jeden segment (sloupek) displeje při nastavení na „short sample time“, kdy jeden převod trvá 20 taktů hodin AD převodníku.

Tyto hodnoty jsou nejnížší možné, při kterých bude AD převodník schopen navzorkovat potřebný počet vzorků. Zvolená frekvence hodin tedy nesmí být nižší než tato hodnota. Při volbě vhodného kmitočtu hodinového signálu je ale potřeba vzít v úvahu skutečnost, že

je potřeba stihnout zobrazení segmentu displeje a nutnou režii dřív než nastane potřeba zobrazit segment další. Délka této obsluhy závisí na délce programového kódu, který ji provádí. Délka tohoto programu ale není předem známá a nelze tedy jednoznačně spočítat dobu této obsluhy. Proto byla frekvence hodin určena experimentálně. Bylo zjištěno, že frekvence hodin sběrnice MCU o hodnotě 2 MHz je dostačující pro včasné provedení všech potřebných operací v daném čase. Bude-li tato frekvence použita i pro AD převodník, pak bude dostatečná i pro něj. Jak bylo změřeno dříve (viz tabulky 5.1 a 5.3), bude odběr při této konfiguraci zhruba 5,3 mA, respektive 11,3 mA v nejhorším případě – to pokud budou rozsvíceny všechny LED. Při tomto odběru by se napětí baterie mělo držet mezi 2,8–2,73 V, což je pro provoz MCU dostatečné. Napájení akcelerometru a magnetometru v tomto případě není limitujícím faktorem, jelikož jejich minimální napájecí napětí jsou 2,2 V, respektive 1,95 V. Frekvence hodin sběrnice MCU byla tedy ponechána na hodnotě 2 MHz.

5.4 Implementační prostředky

Softwarové vybavení displeje bylo vyvíjeno v integrovaném vývojovém prostředí CodeWarrior společnosti Freescale ve verzi 10.1 [2] pod operačním systémem Microsoft Windows 7 Professional Service Pack 1. Pro komunikaci s MCU, jeho programování a ladění programového vybavení byl využit programátor Cyclone Pro vyráběný společností P&E Microcomputer Systems [16]. Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly, programové vybavení bylo implementováno v programovacím jazyce C.

5.5 Testování SW a celého zařízení

Zařízení bylo při vývoji softwarového vybavení testováno průběžně, aby byly případné chyby odhaleny co nejdříve a bylo možné provádět změny v programu s co nejmenšími obtížemi.

5.5.1 Detekce polohy a časování

Funkce akcelerometru byla testována nejprve na základní úrovni tzn. binární reprezentace hodnoty navzorkované AD převodníkem na kanálu, který byl připojen ke zvolené ose, byla zobrazována na LED, zařízení bylo pomalu naklápěno a byla pozorována změna naměřené hodnoty.

Dále bylo testován předpoklad, že při otáčení displeje bude signál z akcelerometru pravidelně procházet přes práh (viz obrázek 5.1). Při těchto testech byl displej pomocí oboustranně lepící pásky za baterii připevněn k elektromotoru, který displejem otáčel. Testovací program byl nastaven tak, aby při každém přechodu přes práh směrem dolů blikl LEDkou. Podle očekávání to mělo za následek zobrazení jakési šmouhy, která začínala v místě, kdy došlo k detekci překročení prahu a jejíž délka odpovídala délce svitu zmiňované LED. Tímto testem bylo ověřeno, že navrhovaná metoda detekce polohy je použitelná.

Poslední test byl proveden po implementaci logiky zobrazování textu. Jeho princip byl stejný jako u testu předchozího, jen místo šmouhy byl zobrazován text a byla též testována jeho čitelnost. Podle výsledků tohoto testu byly upravovány konstanty využití pro časování.

Funkčnost s využitím magnetometru byla testována obdobným způsobem s mírně odlišnými výsledky. Zobrazená šmouha ani posléze text nebyly zobrazeny na jednom místě, ale otáčely se. Jako příčina tohoto chování byla identifikována skutečnost, že magnetometr

dokáže dodávat maximálně 80 vzorků za sekundu, což je pro zobrazení stabilního textu příliš málo. Nicméně text byl stále čitelný, i když se otáčel.

5.5.2 Přepínání mezi akcelerometrem a magnetometrem

Funkce přepínání mezi akcelerometrem a magnetometrem byla testována až jako jedna z posledních věcí. Při tomto testu byl displej výše zmíněným způsobem připevněn k motoru, který jím otáčel a byl pomalu naklápěn ze svislé polohy do vodorovné. Při určitém náklonu dojde k přepnutí. Toto se na displeji projeví probliknutím. Dojde-li k přepnutí na magnetometr, text se začne otáčet z důvodů popsaných výše. Zmíněné probliknutí je způsobeno několika vlivy. Zejména se na něm podílí způsob, jakým je řešeno časování – jelikož akcelerometr a magnetometr dávají odlišné hodnoty, chvíli trvá než se synchronizační mechanismus opět ustálí. Nicméně tento přechodový jev netrvá dlouho a zařízení se nakonec vždy ustálí v jednom z definovaných stavů.

5.5.3 Uchycení k závěsu a otáčení v ruce

Jelikož bylo při návrhu počítáno i s touto možností, byl jeden z testů zaměřen právě na ni. Displej byl za spodní (u konektoru USB) otvor v desce přivázán k závěsu a po vložení baterie s ním bylo otáčeno v ruce. Bohužel se však ukázalo, že tento způsob pohonu není vhodný a to z toho důvodu, že nelze dosáhnout dostatečně vysokých otáček. Je sice možné postřehnout část textu, ale vyžaduje to poměrně velké úsilí. Tento způsob pohonu se tedy ukázal být nevhodným.

Kapitola 6

Závěr

Tato práce se zabývala vývojem rotačního displeje, především pak možnostmi snímání polohy pomocí akcelerometru bez využití statických částí. Jak při vývoji vyplynulo, není možné se při tom spolehnout pouze na jeden akcelerometr umístěný v ose ramene, ale je potřeba jej doplnit ideálně magnetometrem, aby byla zajištěna funkčnost zařízení i při malém náklonu nebo ve vodorovné poloze.

Bylo vyrobeno funkční zařízení schopné zobrazit krátký text, které těchto dvou součástí využívá a byla úspěšně testována jeho schopnost fungovat při různém náklonu. Při těchto testech byl displej přichycen k elektromotorku. Nezávislost na druhu pohonu, kterou využití akcelerometru s magnetometrem přineslo, umožnila otestovat chování zařízení při uchycení k závěsu a otáčení přímo v ruce. Tento test ale prokázal, že při tomto druhu pohonu není možné dosáhnout dostatečně vysokých otáček, aby byl zobrazovaný text bez problémů čitelný.

Vyrobené zařízení sice obsahuje několik nedostatků, nicméně tyto nebránily v pokračování práce a byly v dokumentaci opraveny. Další zařízení z důvodů nedostatku součástek vyrobeno nebylo.

Do budoucna je možné zařízení rozšířit například o různé režimy zobrazování (např. posuvný text) nebo odstranit překážky bránící využití sběrnice USB popsané v podkapitole 4.5 a implementovat její programovou obsluhu.

Literatura

- [1] CADSOFT COMPUTER. *CadSoft - Home of CadSoft EAGLE PCB Design Software- Best PCB Design Software* [online]. 2011 [cit. 2012-02-12]. Dostupné na: [⟨http://www.cadsoftusa.com/?language=en⟩](http://www.cadsoftusa.com/?language=en).
- [2] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *CodeWarrior for Microcontrollers (Eclipse IDE) - RS08/HCS08, ColdFire V1, Qorivva 56xx, PX Series, 56800/E DSC, Kinetis Product Summary Page* [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné na: [⟨http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=CW-MCU10&tid=CWH⟩](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=CW-MCU10&tid=CWH).
- [3] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *MAG3110 Product Summary Page* [online]. 2004-2010 [cit. 2012-01-27]. Dostupné na: [⟨http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MAG3110&webpageId=129288320677672732B37A&nodeId=011269B37A&fromPage=tax⟩](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MAG3110&webpageId=129288320677672732B37A&nodeId=011269B37A&fromPage=tax).
- [4] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *MMA7260QT Product Summary Page* [online]. 2004-2010 [cit. 2012-01-27]. Dostupné na: [⟨http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MMA7260QT⟩](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MMA7260QT).
- [5] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *±1.5g - 6g Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer* [online]. 2008 [cit. 2012-01-27]. Dostupné na: [⟨http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7260QT.pdf⟩](http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7260QT.pdf).
- [6] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Three-Axis, Digital Magnetometer* [online]. 2008 [cit. 2012-01-27]. Dostupné na: [⟨http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MAG3110.pdf?fp=1⟩](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MAG3110.pdf?fp=1).
- [7] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *MC9S08JM60 MC9S08JM32 Data Sheet* [online]. 2009 [cit. 2012-01-27]. Dostupné na: [⟨http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08JM60.pdf?fsrch=1&sr=1⟩](http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08JM60.pdf?fsrch=1&sr=1).
- [8] GOOGLE. *Galaxy Nexus – The new Android phone from Google* [online]. [cit. 2012-01-31]. Dostupné na: [⟨http://www.google.com/nexus/#/tech-specs⟩](http://www.google.com/nexus/#/tech-specs).
- [9] HARVATEK. *Harvatek Surface Mount LED Data Sheet HT-150 Series* [online]. 2005 [cit. 2012-02-04]. Dostupné na: [⟨http://webbuilder3.asiannet.com/2278/comm/upfile/p_101007_09605.pdf⟩](http://webbuilder3.asiannet.com/2278/comm/upfile/p_101007_09605.pdf).
- [10] HSU, T.-R. *MEMS Packaging*. [b.m.]: Institution of Engineering and Technology, 2009. S. 1. Dostupné na: [⟨http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=3800&VerticalID=0⟩](http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=3800&VerticalID=0). ISBN 978-0-86341-335-3.

Seznam zkratek

ACMP	Analog Comparator
AD	Analogově digitální
ADC	Analog to Digital Converter
DPS	Deska plošných spojů
IDE	Integrated Development Environment
IIC	Inter-Integrated Circuit
LED	Light emitting diode
MCG	Multi-Purpose Clock Generator, modul MCU, viz [7]
MCU	Microcontroller unit
MEMS	Microelectromechanical system
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
SDT	Spin-dependent tunnelling
SMD	Surface Mounted Devices
SMT	Surface Mount Technology
TMR	Tunnelling Magnetoresistance
USB	Universal Serial Bus

Příloha A

Obsah CD

Odevzdané CD obsahuje tři adresáře:

- *sw* Obsahuje dva podadresáře – *circuit_test* s programem pro otestování DPS a *display* obsahující vlastní program pro rotační displej. Tyto adresáře obsahují zmíněné programy ve formě projektů pro IDE CodeWarriror. Pro postup překlada a naprogramování viz přílohu B.
- *latex* Obsahuje zdrojové texty této technické zprávy a soubor *xkonec52.pdf*, který je elektronickou verzí této zprávy.
- *eagle* V tomto adresáři jsou umístěny tři podadresáře. Každý z nich obsahuje schéma zapojení a motiv DPS ve formě souborů programu Eagle verze 6.1.0 for Linux Light Edition a také ve formě PNG obrázků. Dále každý obsahuje podadresář *cam*, který obsahuje motiv DPS vyexportovaný ve formátu Gerber a vrtací data ve formátu Excellon.
 - Adresář *vyrobene* obsahuje dokumentaci, podle které byla vyrobena DPS.
 - Adresář *opravene* obsahuje dokumentaci, v níž byly odstraněny nedostatky odhalené po vyrobení DPS.
 - Adresář *otocene* obsahuje dokumentaci pro variantu s akcelerometrem pootočeným o 45°, která byla uvažována v podkapitole 5.2.4.

Příloha B

Manuál

V této příloze bude popsán postup importu projektu s programovým vybavením pro displej a jeho naprogramování do zařízení.

B.1 Potřebné vybavení

Program pro displej byl vytvořen v prostředí CodeWarrior 10.1 společnosti Freescale [2] pod operačním systémem Windows 7 professional Service Pack 1, nicméně použitelná by měla být i jakákoliv novější verze tohoto vývojového prostředí založená na platformě Eclipse. Použitý operační systém je omezen pouze požadavky tohoto IDE a výrobce použitého programátoru.

Dále je pro programování displeje potřeba programátor. V této práci byl použit Cyclone Pro vyráběný P&E Microcomputer Systems. Ovladač pro tento programátor je obsažen přímo v instalačním balíčku programu CodeWarrior.

B.2 Import projektu

Aby bylo možno provádět změny v programu nebo jej nahrát od displeje, je nejprve nutné jeho projekt naimportovat do IDE.

1. Po spuštění CodeWarrioru vybereme z menu *File* podložku *Import...*
2. V objeveném se dialogovém okně vybereme z kategorie *General* položku *Existing Projects into Workspace* a klikneme na tlačítko *Next*.
3. V následujícím kroku průvodce zvolíme možnost *Select root directory*, klikneme na tlačítko *Browse...* a vybereme složku obsahující projekt se softwarem pro displej.
4. Označíme projekt, který se objevil v části okna nadepsané jako *Projects*. Pokud chceme v projektu dělat změny nebo i jen spustit znovu překlad, zapneme zatržení položky *Copy projects into workspace*, která způsobí překopírování celého projektu z původního umístění.
5. Stiskneme tlačítko *Finish* a projekt by se měl objevit v levé části hlavního okna vývojového prostředí.

B.3 Překlad a programování

Po importu by měl projekt obsahovat i přeložený binární soubor vhodný k naprogramování do zařízení. Před připojením k programátoru je ze zařízení nutné vyjmout baterii. Samotné naprogramování provedeme takto:

1. Ze zařízení vyjmeme baterii a připojíme ho k programátoru.
2. Na hlavním panelu nástrojů klikneme na černou šipku vedle tlačítka se symbolem modrého blesku.
3. Z menu, které se objeví vybereme položku *Open flash programmer*.
4. V některém z postranních panelů se objeví záložka *Target tasks*, jejímž obsahem by měl být mimo jiné seznam *Tasks*. V tomto seznamu je pouze jedna položka a to *Naprogramovat*.
5. Označíme tuto položku a stiskneme tlačítko *Execute*.
6. Je-li zařízení správně připojeno k programátoru a programátor k PC, software bude naprogramován do zařízení.

Překlad aplikace po provedení úprav ve zdrojových souborech se provádí pomocí tlačítka *Build all* v hlavním panelu nástrojů.

B.4 Ladění programu

Programové vybavení displeje lze ladit přímo v zařízení. Po vyjmutí baterie a jeho připojení k programátoru klikneme na šipku vedle tlačítka *Debug* se symbolem zeleného brouka a vybereme položku *Debug configurations*. Ze seznamu v levé části dialogu, který se objeví, vybereme položku začínající na *display_MC9S08JM60* a stiskneme tlačítko *Debug*. Pokud byly zdrojové soubory od posledního překladu změněny, je proveden nový překlad, poté je do zařízení naprogramována aktuální verze přeloženého softwaru a je spuštěn debugger. Při ladění je zařízení napájeno přímo z programátoru napětím 3 V.

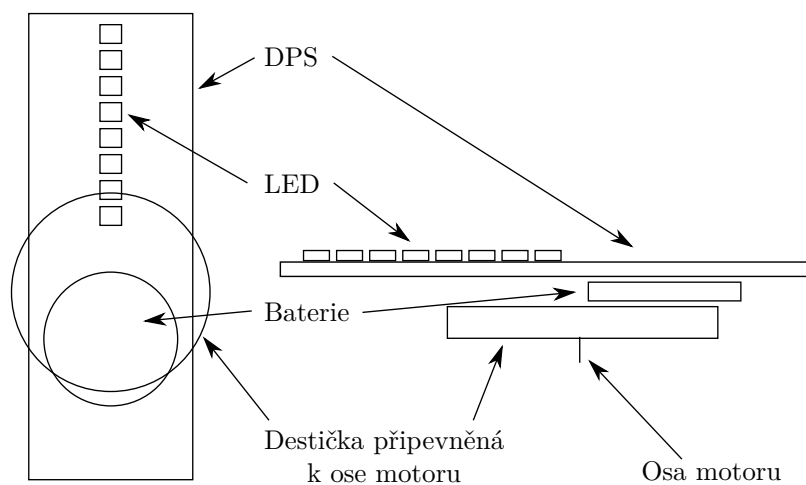
B.5 Změna zobrazovaného textu

Zobrazovaný text je definován v souboru `display.c` v konstantě `DISP_MSG`. Tato konstanta je pole konstant – písmen definovaných v modulu `font`. Jsou definována velká písmena anglické abecedy, číslice a mezera. Další znaky lze v případě potřeby dodefinovat. Po změně textu, který se má zobrazit, je nutné také upravit hodnotu konstanty `DISP_MSG_LEN`, která udává délku zobrazované zprávy ve znacích. Poté je nutné program výše zmíněným způsobem znovu přeložit a naprogramovat do zařízení.

B.6 Připevnění k motorku

Těžiště zařízení se nachází přibližně pod vývodu kladného pólu baterie a měl by se nacházet co nejbližně ose otáčení. Osvědčilo se připevnit k motorku nejprve baterii a poté na ni zařízení jen nasazovat. Není nutné nějaké další upevňování, jelikož držák na baterii dokáže zařízení na motorku udržet bez problémů. Pro lepší představu o způsobu připevnění k motorku

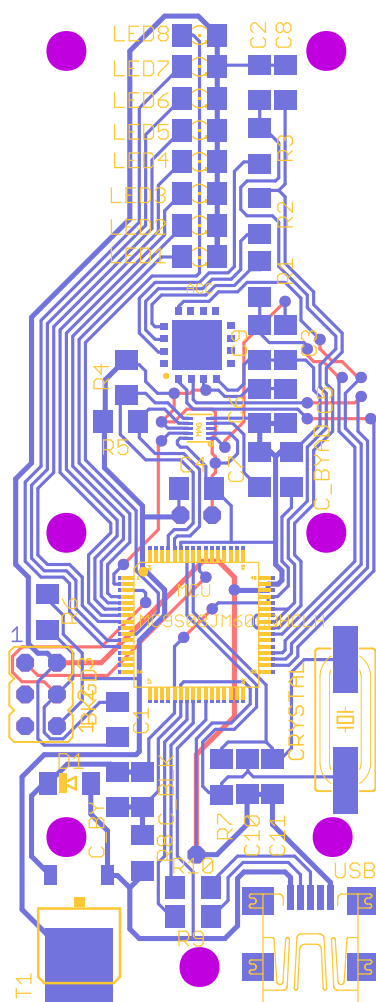
viz obrázek B.1. Na tomto obrázku je znázorněna přibližná poloha všech podstatných částí. Motorek využívaný při testování byl opatřen kulatou destičkou, která byla připevněna k jeho ose a k níž byla pomocí oboustranně lepicí pásky přilepena baterie.



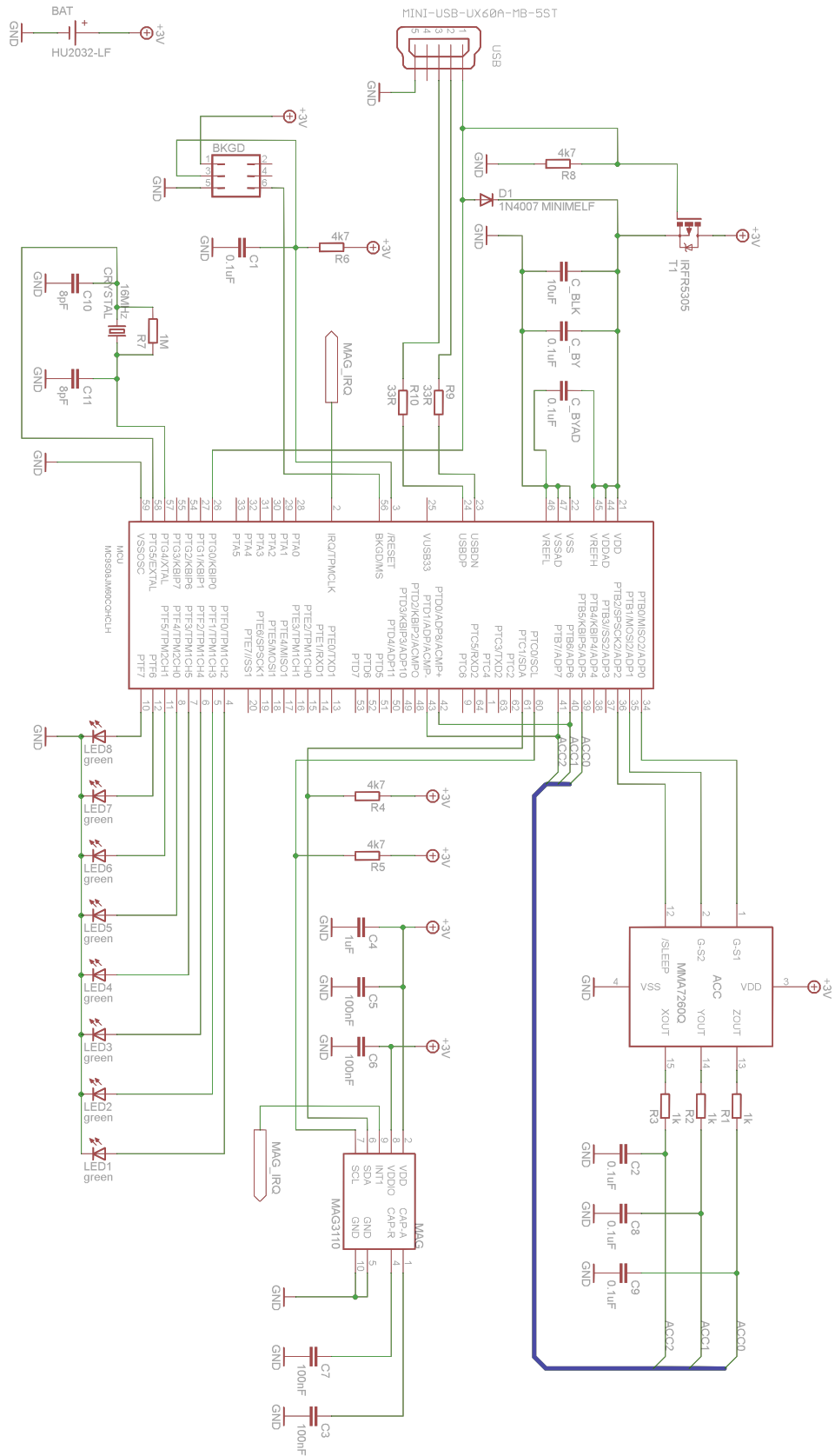
Obrázek B.1: Nákres připevnění zařízení k motoru – pohled shora a ze strany. Jsou znázorněny pouze podstatné části. Držák baterie znázorněn není. LED jsou znázorněny jen, aby byla zřejmá orientace DPS a jejich poloha neodpovídá přesně skutečnosti.

Příloha C

Schéma zapojení a motiv DPS



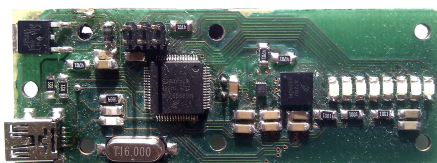
Obrázek C.1: Opravený motiv desky plošných spojů (zvětšený). Oproti vyrobené desce má otočený konektor ladicího rozhraní MCU.



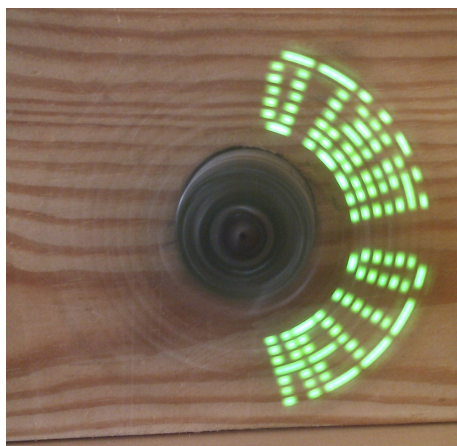
Obrázek C.2: Schéma zapojení

Příloha D

Fotografie vyrobeného zařízení



Obrázek D.1: Fotografie osazené desky plošných spojů.



Obrázek D.2: Fotografie vyrobeného zařízení v provozu. Je zobrazován text „HELLO WORLD“.