



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

BEZDRÁTOVÝ TACHOMETR NA KOLO

WIRELESS BICYCLE SPEEDOMETER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MARTIN ROČKÁR

Ing. VÁCLAV ŠIMEK

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce



Student: **Ročkář Martin**
Program: Informační technologie
Název: **Bezdrátový tachometr na kolo**
Wireless Bicycle Speedometer
Kategorie: Vestavěné systémy

Zadání:

1. Analyzujte možnosti snímání rychlosti jízdy pomocí vhodného senzoru umístěného na pracovní partii kola.
2. Seznamte se s technikami bezdrátové komunikace, které je možno využít pro přenos dat od snímače rychlosti jízdy do vyhodnocovacího zařízení.
3. Navrhněte koncepci bezdrátového tachometru na kolo, který bude zahrnovat snímací obvod, bezdrátové komunikační rozhraní pro přenos dat a vyhodnocovací jednotku s uživatelským rozhraním na bázi displeje a tlačítek.
4. Zvolte vhodné komponenty a proveďte realizaci obvodového zapojení jednotlivých částí systémů dle návrhu koncepce ze 3. bodu zadání.
5. Implementujte v potřebném rozsahu firmware zajišťující správnou činnost systému jako celku. Úkolem vyhodnocovací jednotky je vizuálně prezentovat naměřené údaje, kdy se požaduje minimálně aktuální/průměrná rychlost, celková průměrná rychlost a ujetá vzdálenost.
6. Vytvořené zařízení důkladně otestujte na jízdním kole, přičemž musí být schopno bezproblémové činnosti ve vnějším prostředí za běžných provozních podmínek.
7. Stručně vyhodnoťte dosažené výsledky a pokuste se navrhnout případná rozšíření.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Splnění bodů 1 až 4 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Šimek Václav, Ing.**
Vedoucí ústavu: Sekanina Lukáš, prof. Ing., Ph.D.
Datum zadání: 1. listopadu 2019
Datum odevzdání: 31. července 2020
Datum schválení: 25. října 2019

Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zaoberá praktickým návrhom bezdrôtového tachometra na bicykel. Prácu môžeme rozdeliť na dve časti, teoretickú časť popisujúcu históriu, princíp činnosti, prehľad tachometrov, prehľad použitých senzorov a návrh komponent pre obvodové zapojenie. Nasledujúca časť sa zaoberá praktickou realizáciou a implementáciou cyklopočítača.

Abstract

Main goal of this bachelor thesis is practical design and implementation of a digital wireless cyclocomputer. This document can be divided into two parts, theoretical part which describes history of cyclocomputers, basic principle of cyclocomputer functions, overview of cyclocomputers on today's market, motion sensors and design of hardware. Second part is concerned about practical realisation and implementation of a wireless digital cyclocomputer

Klíčová slova

Tachometer, cyklopočítač, akcelerometer, MCU, QN9080, FXOS8700CQR1, Bluetooth Low Energy

Keywords

Tachometer, cyclocomputer, accelerometer, MCU, QN9080, FXOS8700CQR1, Bluetooth Low Energy

Citace

ROČKÁR, Martin. *Bezdrátový tachometr na kolo*. Brno, 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Václav Šimek

Bezdrátový tachometr na kolo

Prohlášení

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením Ing. Václava Šimeka s použitím vedeckej literatúry a odborných textov, ktoré sú všetky poriadne citované a uvedené v zozname použitej literatúry. Ďalšie potrebné informácie boli získané od pani Ing. Lenky Poláškovéj z Brnenskej pobočky firmy NXP Semiconductors.

.....

Martin Ročkár

30. července 2020

Poděkování

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Václavovi Šimekovi a firme NXP, konkrétne pani Ing. Poláškovéj za odbornú pomoc pri návrhu a implementácii funkčného cyklopočítača a množstvo cenných rád.

Obsah

1	Úvod	3
1.1	Cieľ práce	3
2	História cyklopočítačov	4
2.1	Princíp cyklopočítaču	4
2.2	História cyklopočítačov	5
2.2.1	Prvý cyklopočítač	5
2.2.2	Huret Multito	6
2.2.3	Avocet Cyclometer 20	7
2.2.4	Súčasnosť	7
3	Vlastnosti vybraných cyklopočítačov	8
3.1	Základné	8
3.1.1	CatEye Padrone (CC-PA100W)	9
3.1.2	Sigma BC 14.16 STS CAD	10
3.2	Pokročilé	11
3.2.1	Garmin Edge 530	11
3.2.2	Wahoo ELEMNT BOLT	12
3.3	Profesionálne	13
3.3.1	Garmin Edge 1030	14
3.3.2	SRM PowerControl 8	15
4	Senzory pohybu	16
4.1	Hallova sonda	16
4.1.1	Hallovo jav	16
4.1.2	Využitie Hallovoho javu	17
4.2	Jazýčkový spínač	17
4.2.1	Princíp jazýčkového spínača	17
4.2.2	Použitie	18
4.3	MEMS Akcelerometer	18
4.3.1	Princíp akcelerometera	19
5	Možnosti bezdrôtového prenosu	20
5.1	Bluetooth Low Energy	20
5.2	Zigbee	21
6	Návrh a praktická realizácia hardware	22
6.1	Výber vhodných komponent	22

6.1.1	Mikrokontrolér	22
6.1.2	Podpora pre nabíjanie akumulátorov	24
6.1.3	Realizácia napájacieho systému	25
6.1.4	Akcelerometer a magnetometer	25
6.1.5	E-Ink displej	27
6.1.6	Ostatné komponenty	27
6.2	Návrh a realizácia Dosiek plošných spojov	28
6.2.1	Prvá iterácia dosiek plošných spojov	29
6.2.2	Druhá iterácia dosiek plošných spojov	32
6.2.3	Tretia iterácia dosiek plošných spojov	33
6.3	Cena zariadenia	35
7	Návrh a implementácia firmware	36
7.1	Modul senzoru	36
7.1.1	Získavanie dát z akcelerometru	37
7.1.2	Spracovanie dát a vyrátanie rýchlosti	37
7.1.3	Odosielanie údajov	38
7.2	Mobilná aplikácia	39
7.2.1	Návrh užívateľského rozhrania	39
7.2.2	Použitie aplikácie	39
7.2.3	Implementácia	40
8	Testovanie	41
8.1	Testovanie výrobku	41
8.2	Testovanie intenzity signálu	42
9	Záver	43
	Literatura	45
A	Dosky plošných spojov	48
A.1	Doska plošných spojov modulu senzor	48
A.2	Doska plošných spojov modulu tachometer	49
A.3	Zoznam súčiastok	49
B	Popis štruktúry adresárov	50

Kapitola 1

Úvod

Táto bakalárska práca sa zaoberá teoretickým popisom cyklopočítačov, praktickým návrhom a implementáciou funkčného modelu tachometru. Práca sa dá rozdeliť na dva logické bloky, prvý blok popisujúci teoretické informácie, ktorý sa ešte delí na nasledujúce časti.

Prvá časť popisuje princíp činnosti a jednotlivé časti cyklopočítača, vysvetľuje základnú funkcionálnu jednoduchosť digitálneho tachometra a spôsob zaznamenávania informácií z jazdy na bicykli.

Druhá časť hovorí o histórii tachometrov, od vzniku prvých komerčne predávaných tachometrov, až po presné, moderné zariadenia s množstvom funkcií.

Tretia časť sa zaoberá prehľadom vlastností cyklopočítačov na súčasnom trhu, rozdelených podľa cenovej hladiny a poskytovaných funkcií. Popisuje ich základné parametre ako veľkosť, výdrž batérie, cena, použité technológie a senzory, výhody a nevýhody a ich následné porovnanie.

Štvrtá časť zobrazuje prehľad a popis senzorov vhodných na detekovanie rýchlosti, ktoré sú v dnešnej dobe najčastejšie používané.

Posledná časť teoretického bloku sa venuje výberu a popisu jednotlivých komponent prototypového zariadenia ako napríklad displej, SD modul, akumulátory, nabíjací obvod, napäťový regulátor, akcelerometer a mikrokontrolér..

Druhý blok je zameraný na popis postupu návrhu viacerých iterácií dosiek plošných spojov, osadzovania súčiastok a implementácie softwarovej časti výrobku. Hovorí o zmenách, ktorými zariadenie prechádzalo v priebehu práce a následne popisuje problémy zistené pri testovaní tachometru.

1.1 Cieľ práce

Cieľom tejto bakalárskej práce je vytvoriť funkčný a použiteľný tachometer pre zaznamenávanie dát z jazdy na bicykli. Tento tachometer musí byť schopný konkurovať podobným produktom na súčasnom trhu so športovými potrebami. Hlavnou funkciou zariadenia je zber dát, ich následné spracovanie a reprezentácia vo vhodnom formáte na displej. Veľký dôraz bude zameraný hlavne na výdrž batérie, spoľahlivý bezdrôtový prenos a jednoduchosť používania.

Kapitola 2

História cyklopočítačov

2.1 Princíp cyklopočítaču

V dnešnej informačnej dobe je množstvo dát získaných z jazdy na bicykli vyžadované stále viac a viac. Množstvo ľudí v dnešnej dobe používa na zaznamenávanie a uchovávanie dát chytrý telefón ktorý poskytuje veľký, ľahko čitateľný displej. Väčšinou spája dáta získané z jazdy spolu s mapou a vytvorí tak cyklistovi komplexný prehľad. Nevýhodou telefónu je však nedostatočná odolnosť voči vode a fakt, že zariadenie používa na získavanie dát GPS modul a pri jazde je displej stále zapnutý, čo spôsobuje veľmi rýchle vybíjanie batérie. Ďalšia nevýhoda je upevnenie na riadítka bicykla, pre fixáciu je vyžadovaný samostatný držiak pri ktorom hrozí vypadnutie a poškodenie telefónu.

Práve kvôli týmto nevýhodám veľa ľudí siaha po klasickom cyklopočítači, ktorý je kompaktný, presný, do určitej miery odolný voči vode a ostáva stále pripnutý na riadítkach bicykla. Väčšina moderných tachometrov je už odolná aj voči miernym nárazom a tak vydržia aj menšie pády z bicykla.

Cyklopočítač funguje na jednom z troch princípov. Zariadenie používa magnetický senzor, takže magnet je umiestnený do výpletu predného kolesa ktoré sa točí v tesnej blízkosti senzoru, umiestneného na nohe vidlice. Pre meranie kadencie je väčšinou magnet umiestnený na kľuke a senzor na zadnej stavbe rámu. Výhodou takéhoto typu senzoru je nízka cena, pomerne vysoká presnosť a dlhšia životnosť batérie. Nevýhodou je, že neposkytuje cyklistovi komplexné dáta spojené s mapou.

Alternatívou k magnetickým senzorom sú akcelerometre, ktoré merajú statické a dynamické zrýchlenie. S použitím dát o zrýchlení je možné vyrátať rýchlosť a pozíciu zariadenia.

Ďalej môže cyklopočítač získavať dáta pomocou GPS. Základnou časťou takéhoto zariadenia je GPS modul, ktorý získava a transformuje GPS signál na informácie o jazde, ktoré užívateľ požaduje. Tachometer používajúci GPS poskytuje oveľa viac možností poskytovaných dát, ktoré môžu byť jednoducho prenesené na desktop. Výhodou takéhoto zariadenia je možnosť použitia na viacerých bicykloch naraz, keďže nie je nutné nastavovať rozmery kolesa ako pri klasickom magnetickom tachometri. Nevýhody sú vysoká cena, pomerne vysoká váha, väčšie rozmery a slabá výdrž batérie.

Cyklopočítače sa delia podľa spôsobu prenosu dát na

- Klasické - Zo senzoru umiestneného na nohe vidlice vedie kábel ku zariadeniu na riadidlách. Cez tento vodič sa prenášajú dáta na zobrazenie užívateľovi. Výhody takéhoto tachometru sú nízka cena a jednoduchosť, nevýhodou je zložitosť upevnenia na bicykel a veľké riziko poškodenia vodiča pri jazde, čo spôsobí nefunkčnosť celého zariadenia.
- Bezdrôtové - Na vidlici bicykla je umiestnený senzor s bezdrôtovým modulom, ktorý odosiela dáta do modulu na riadidlách. Výhodou je jednoduchosť inštalácie na bicykel a krajší vzhľad. Nevýhodou je cena.

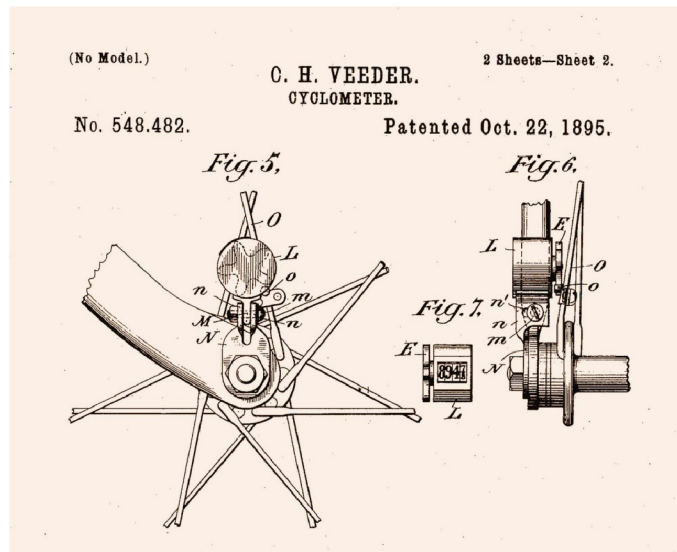
Životnosť batérie sa pri použití rôznych typov tachometrov mení. Pri použití klasického magnetického senzoru sú zariadenia napájané jednou alebo dvoma malými gombíkovými batériami, ktoré vydržia v prevádzke až niekoľko rokov. S použitím GPS modulu životnosť batérie radikálne klesá. Zariadenie vydrží v prevádzke priemerne 20 hodín a je nutné ho často nabíjať. Najmenšiu výdrž má chytrý telefón, ktorý pri používaní GPS a aplikácie zaznamenávajúcej dáta, vydrží v priemere iba 5-8 hodín v závislosti na kapacite batérie. Moderné cyklopočítače poskytujú množstvo bežných funkcií ako napríklad podsvietenie displeja pre jazdu v noci, prenos dát do počítača, prepínateľné obrazovky, nastavenie zobrazovaných dát a použitie na viacerých bicykloch.

2.2 História cyklopočítačov

Dnešní cyklisti používajú zariadenia pripevnené ku bicyklu na získanie množstva dát ako rýchlosť, prejdená vzdialenosť alebo kadencia. Toto všetko nebolo možné pred vynálezom prvého cyklopočítača približne pred 150 rokmi. Informácie v tejto kapitole sú prevzaté z [4].

2.2.1 Prvý cyklopočítač

Za tento vynález sa zaslúžil Američan Curtis Veeder, ktorý sa narodil v roku 1862 v štáte Pennsylvania v Spojených štátoch amerických. Prvý tachometer bol vyrobený vo Veeder Manufacturing Company v roku 1895. Tento Cyklopočítač pozostával z odometra - zariadenia na počítanie prejdenej vzdialenosti pripevneného na vrtulku, ktorú točil výplet zadného kolesa. Odometer zaznamenával počet vykonaných rotácií, ktoré boli neskôr transformované do informácie o prejdenej vzdialenosti. Táto informácia bola však často nepresná. Tento cyklopočítač bol v polovici 20. storočia rozšírený o merač rýchlosti, čo umožňovalo vtedajším cyklistom získavať informácie o rýchlosti a celkovej prejdenej vzdialenosti. Obrázok 2.1 popisuje konštrukciu prvého cyklopočítača.



Obrázek 2.1: Veeder Manufacturing (Obrázok prevzatý z [1])

2.2.2 Huret Multito

V roku 1970 prišlo na trh zariadenie s názvom Huret Multito ktoré sa skladalo takisto z odometra, ktorý bol poháňaný gumeným krúžkom pripevneným o os predného kolesa. Toto zariadenie bolo schopné zmerať celkovú prejdenú vzdialenosť a vzdialenosť jedného výjazdu. Gumený krúžok sa však časom a vplyvom poveternostných podmienok rozťahol a tak zaznamenávané údaje neboli presné. Na obrázku 2.2 je zobrazené zariadenie Huret Multito.



Obrázek 2.2: Huret Multito (prevzaté z [29])

2.2.3 Avocet Cyclometer 20

Naozajstný elektronický cyklopočítač bol vyvinutý v roku 1983 firmou Avocet, a začal sa predávať v roku 1985. Niesol názov Avocet Cyclometer 20. Jednalo sa o čisto elektronické zariadenie schopné vyrábať rýchlosť, čas a vzdialenosť podľa počtu rotácií kolesa. Cyklopočítač je zobrazený na obrázku 2.3. Vážil menej ako 30 gramov a používal ho aj svetový šampión Greg LeMond¹. Firma Avocet pokračovala vo výrobe tachometrov.



Obrázek 2.3: Avocet Cyclometer 20 (prevzaté z [19])

2.2.4 Súčasnosť

Tachometre ponúkali stále väčšiu a väčšiu funkcionality. Začali sa používať GPS moduly a popredným výrobcom cyklopočítačov v dnešnej dobe je firma Garmin, s ich radou cyklopočítačov Edge používaných množstvom tímov na svetových šampionátoch. Bezdrôtové technológie ANT+ a Bluetooth umožňujú pripojiť ku cyklopočítaču množstvo iných senzorov ako napríklad senzor na meranie tepu, ktoré sa jednoducho používajú a výrazne rozširujú funkcionality cyklopočítača. Tým poskytujú cyklistovi komplexnejšie informácie. Užívateľ môže prístup k údajom buď priamo na cyklopočítači alebo prenesením dát do PC buď pomocou USB alebo pripojením ku sieti cez Wi-Fi. Poskytujú možnosť synchronizácie dát s rôznymi komerčnými aplikáciami (napríklad Strava) v ktorých užívateľ môže nájsť pokročilejšie štatistiky a porovnať svoj výkon s inými užívateľmi.

¹Americký cestný cyklista a trojnásobný víťaz Tour de France (1986, 1989 a 1990)

Kapitola 3

Vlastnosti vybraných cyklopočítačov

Na dnešnom trhu sa nachádza nespočetné množstvo cyklopočítačov, ktoré sa rozdeľujú podľa poskytovaných funkcií na základné, pokročilé a zariadenia pre profesionálnych športovcov. Podľa toho sa odvíja aj ich cena. Táto kapitola sa zaoberá prehľadom existujúcich cyklopočítačov z každej cenovej skupiny.

3.1 Základné

Ako základný alebo začiatočnícky cyklopočítač je možné nazvať zariadenie s cenou do 100eur. Väčšinou sa jedná o bezdrôtové zariadenie s magnetickým senzorom, ktoré poskytuje tieto funkcie:

- Rýchlosť
- Maximálna rýchlosť
- Priemerná rýchlosť
- Čas výjazdu
- Dĺžka výjazdu
- Hodiny
- Bezdrôtové pripojenie ku telefónu
- Podsvietenie displeja

Ako referenčné modely boli zvolené zariadenia CatEye Padrone a Sigma BC 14.16 s cenou okolo 55 eur.

3.1.1 CatEye Padrone (CC-PA100W)

Cyklopočítač CatEye padrone 3.1 využíva bezdrôtový magnetický snímač umiestnený na vidlici kolesa. Prenosová vzdialenosť medzi snímačom a počítačom umiestneným na riadítkach musí byť v rozsahu 20-70 cm. Snímač a cyklopočítač obsahujú Lítiovú batériu CR2032 ktorá v cyklopočítači pri použití 1h denne vydrží približne 1 rok a v snímači pokiaľ celková prejdená vzdialenosť dosiahne 10000km. Informácie sú zobrazované na LCD displeji. Veľkosť počítača je 67,5x43x14,5mm a váha je 31,5g. Veľkosť snímača je 41,5x36x15mm a jeho váha je 15g. Cena zariadenia sa pohybuje okolo 50eur. [3]



Obrázek 3.1: CatEye Padrone CC-PA100W (prevzaté z [3])

Cyklopočítač disponuje siedmimi základnými funkciami:

- Denná vzdialenosť
- Celková vzdialenosť
- Okamžitá rýchlosť
- Priemerná rýchlosť
- Maximálna rýchlosť
- Stopky
- Hodiny

3.1.2 Sigma BC 14.16 STS CAD

Toto zariadenie takisto používa bezdrôtový magnetický snímač rýchlosti umiestnený na vidlici a snímač kadencie umiestnený na zadnej stavbe bicykla. Vo výplete kolesa a v ose pedálu sú umiestnené magnety. Dáta prenáša pomocou vlastného troj kanálového prenosového systému STS¹. Rozmery počítača sú 53,2x40,3x12,2mm. Cena výrobku sa pohybuje okolo 70 eur.[28] Cyklopočítač je zobrazený na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Sigma BC 14.16 STS CAD(prevzaté z [28])

Zariadenie zaznamenáva 12 mesiacov štatistík a pomocou aplikácie Sigma Data Center je možné k ním pristúpiť. Dáta sa dajú prenášať priamo do telefónu s operačným systémom Android pomocou NFC, alebo cez dokovaciu stanicu Sigma top line docking station.

Cyklopočítač zobrazuje informácie o celkovej prejdenej a dennej vzdialenosti, tréningovom čase, porovnanie priemernej a aktuálnej rýchlosti, hodiny, teplotu, maximálnu, priemernú a aktuálnu rýchlosť. Ďalej zobrazuje informácie o nadmorskej výške ako maximálna a aktuálna nadmorská výška a celkové stúpanie a klesanie. Z týchto dát je možné v aplikácii vytvoriť grafy a získať tak komplexný prehľad. Zo snímača kadencie je možné zistiť aktuálnu a priemernú kadenciu.[28]

¹Sigma Transmission System

3.2 Pokročilé

Jedná sa o zariadenia s pokročilým senzorom a základným GPS modulom. Pokročilý cyklopočítač má cenu od 100 do 300 eur a poskytuje okrem základných funkcií aj množstvo ďalších, napríklad:

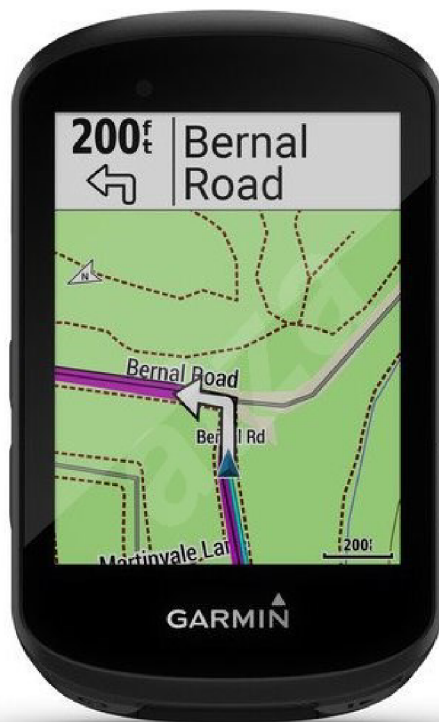
- Informácie o počasí
- Farebný a nastaviteľný displej
- Výškomer
- Možnosť pripojenia hrudného pásu na meranie tepu.
- Počítanie kalórií
- GPS mapy
- Navigáciu

Zástupcami tejto kategórie sú modely Garmin Edge 530 a Wahoo ELEMNT BOLT.

3.2.1 Garmin Edge 530

Cyklopočítač Garmin Edge 530 [3.3](#) patrí do skupiny pokročilých. Obsahuje GPS modul takže životnosť lítiovej batérie je oproti klasickým zariadeniam s magnetickým snímačom oveľa nižšia. Priemerne okolo 20 hodín. Zariadenie je umiestnené na riadítkach bicykla a pomocou technológie Bluetooth alebo ANT+ je možné integrovať aj ďalšie snímače ako napríklad hrudný pás alebo snímač kadencie. Takisto je možné zariadenie používať ako navigáciu alebo prepojiť s ďalšími komerčnými aplikáciami ako Strava alebo Trailforks. Rozmery cyklopočítača sú 50x82x20mm. Disponuje farebným dotykovým displejom s rozlíšením 246 x 322 pixelov. Dáta sa zaznamenávajú do internej pamäti zariadenia ktorá má kapacitu 16GB a vystačí približne na 200 hodín jazdy. Všetky dáta si užívateľ môže manuálne synchronizovať do Andriod/iOS aplikácie cez Bluetooth alebo sa dáta po pripojení na internet cez WiFi automaticky synchronizujú do aplikácie Garmin Connect.

Garmin Edge 530 obsahuje niekoľko senzorov. Okrem GPS napríklad výškomer, teplomer, akcelerometer pre detekciu pohybu kvôli funkcií automatického štartu, konca a pauzy merania a senzor na zachytávanie svetla pomocou ktorého sa automaticky mení jas displeja. [\[13\]](#)



Obrázek 3.3: Garmin Edge 530(prevzaté z[14])

Cyklopočítač zobrazuje množstvo dát, od základných ako sú priemerná, maximálna a aktuálna rýchlosť, celková vzdialenosť, výjazdová vzdialenosť, aktuálny čas a výpočet kalórií až po navigáciu, informácie o počasí, tréningový denník a meranie kadencie. Cena zariadenia sa pohybuje okolo 270eur.[13]

3.2.2 Wahoo ELEMNT BOLT

Takisto ako predchádzajúce zariadenie, aj toto využíva GPS senzor pre získavanie dát o trase. Turn-by-turn navigácia však vyžaduje pripojenie chytrého telefónu. Získané dáta sú automaticky po jazde synchronizované do pripojenej komerčnej aplikácie ako Strava alebo Komoot. Životnosť batérie je okolo 15 hodín. Navyše disponuje iba čiernobielym displejom na ktorom sa síce dajú nastaviť zobrazované dáta, ale pre navigáciu to je nedostačujúce. Nevýhodou tohoto počítača je, že všetky nastavenia (aj prvotné) sú vykonávané cez mobilnú aplikáciu a tak je nutné mať stále telefón pri sebe.

Cez ANT+ alebo Bluetooth je možné pripojiť ďalšie senzory na meranie kadencie, srdečného tepu, hmotnosti alebo pripojiť telefón pre zobrazovanie notifikácií.

Nad displejom sa nachádza 7 LED diód, ktoré znázorňujú na ktorú stranu zabočiť pri používaní turn-by-turn navigácie, alebo indikujú napríklad srdečný tep, rýchlosť či kadenciu. Na displeji je možné zobrazovať súčasne maximálne 9 dátových hodnôt nastaviteľných cez aplikáciu spôsobom drag-and-drop. Zariadenie je možné vidieť na obrázku 3.4.

Rozmery zariadenia sú 74x41x17mm a hmotnosť je 60g. Okrem funkcií ktoré ponúka Garmin Edge 530, umožňuje Wahoo nahráť predom pripravené trasy vo formáte GPX alebo TCX z počítača pomocou USB, alebo z telefónu cez aplikáciu ELEMNT app.[33]



Obrázek 3.4: Wahoo ELEMNT BOLT (prevzaté z [33])

3.3 Profesionálne

Sú to zariadenia s pokročilým GPS modulom s cenou nad 300 eur, ktoré sú určené pre profesionálnych športovcov. Obsahujú funkcie ktoré bežný amatérsky športovec väčšinou nepotrebuje, ale sú potrebné pre maximalizovanie výkonu profesionálnych cyklistov. Napríklad:

- Snímač kadencie
- Automatické prepojenie s komerčnou aplikáciou Strava
- Prepojenie so systémom elektronického radenia
- Pripojenie senzoru pre indikovanie množstva kyslíku v krvi
- Notifikácie z telefónu
- Dotyková obrazovka
- Nastavenie pokročilých tréningových programov
- Prepojenie užívateľov
- Možnosť inštalovania aplikácií na zariadenie

Ako zástupcovia tejto triedy boli vybrané modely Garmin Edge 1030 a SRM PC8.

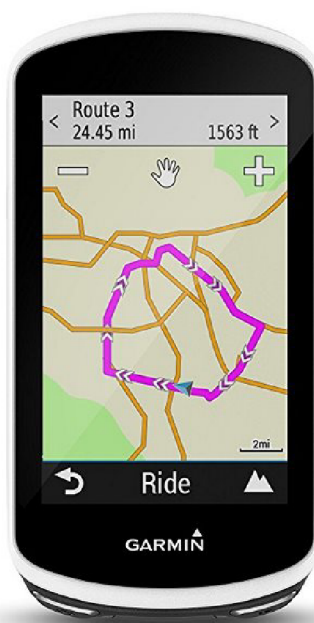
3.3.1 Garmin Edge 1030

Garmin Edge 1030 3.5 býva často nazývaný aj ako vlajková loď medzi cyklopočítačmi. Lítiová batéria má životnosť okolo 20 hodín, podobne ako u nižšieho modelu Garmin Edge 530, zariadenie ale poskytuje možnosť ju rozšíriť externou batériou na trojnásobok. Oproti modelu 530 má väčší displej s dotykovým ovládaním, ktorý by mal fungovať aj pri použití rukavíc. Dáta sú ukladané do internej pamäti zariadenia o kapacite 16GB ktorá vystačí na uloženie dát z 200 hodín jazdy. Ukladací priestor sa dá rozšíriť použitím MicroSD karty do veľkosti 16GB.

Okrem klasických informácií o rýchlosti, vzdialenosti, kadencií, teplote a počasi poskytuje aj informácie o hodnotení tréningu, tréningovej záťaži, efektívnosti tréningu, rekordoch, okysličení svalov, aeróbnej zóne, odpočinku pred ďalším tréningom a výkone pravej a ľavej nohy pri pedálovaní. Používa dva senzory pre meranie kadencie pripojené cez ANT+ alebo Bluetooth. Cez tieto technológie je možné pripojiť sa aj na elektronické radenie prevodov alebo prepojenie s inteligentným stacionárnym bicyklom. Zariadenie umožňuje použitie na štyroch rôznych bicykloch.

Zariadenie dokáže automaticky navrhnúť trasu do cieľa v závislosti od obľúbenosti danej trasy a počtu prejetých trás v okolí. Zaujímavosťou je funkcia incident detection alebo detekcia nehody. Ak integrovaný akcelerometer detekuje pád z bicykla, aplikácia v zariadení automaticky odošle SMS so súradnicami pádu na vopred definované telefónne číslo.

Rozmery sú síce väčšie, a to 114x58x20mm s váhou 120g, ale pri množstve poskytovaných funkcií je veľkosť prijateľná. Cena výrobku sa pohybuje okolo 600eur.[12]



Obrázek 3.5: Garmin Edge 1030 (prevzaté z [12])

3.3.2 SRM PowerControl 8

SRM PC8 3.6 je zariadenie vyvinuté pre potreby vrcholových športovcov. Okrem klasických funkcií ako sila, srdcový tep, rýchlosť, a vzdialenosť poskytuje aj informácie o efektívnej tréningovej záťaži, maximálnej tréningovej záťaži a umožňuje nahranie vlastných tréningových plánov. Obsahuje senzor GPS na zaznamenávanie dát a podporuje pripojenie meračov kadencie a rýchlosti zo štyroch bicyklov zároveň.

Zariadenie obsahuje 1300 mAh Lítiovo-polymerovú batériu ktorá je nabíjateľná pomocou bezdrôtovej podložky alebo klasicky pomocou USB káblu. Doba nabíjania sa však výrazne líši (4 hodiny pri priamom pripojení USB a 12 hodín pri bezdrôtovom nabíjaní). Životnosť batérie je 10-45 hodín v závislosti od použitých senzorov.

Dáta sú ukladané vo formáte .fit do internej pamäti zariadenia o veľkosti 500MB, ktorá vystačí na 4000 hodín tréningu. Následne je možná synchronizácia do aplikácie SRM alebo ostatných komerčných aplikácií ako napríklad Strava alebo Velobook. Zo zozbieraných dát software vykoná inteligentnú analýzu.

Cena výrobku je okolo 700eur.[32]



Obrázek 3.6: SRM PC8 (prevzaté z [32])

Kapitola 4

Senzory pohybu

Táto kapitola sa zaoberá základnými typmi senzorov používaných v cyklopočítačoch bez GPS modulu. Najčastejšie sa používajú magnetické senzory upevnené na vidlicu bicykla a magnet rotujúci vo výplete kolesa. Magnetický senzor získava informácie o rotácií kolesa, tie sa prenášajú buď bezdrôtovo alebo cez vodič do zariadenia, ktoré ich vyhodnocuje a vyráta informácie o jazde.

Medzi často používané magnetické senzory patrí Hallova sonda využívajúca Hallov efekt, senzor s jazýčkovým spínačom (Reed switch) a MEMS akcelerometer.

4.1 Hallova sonda

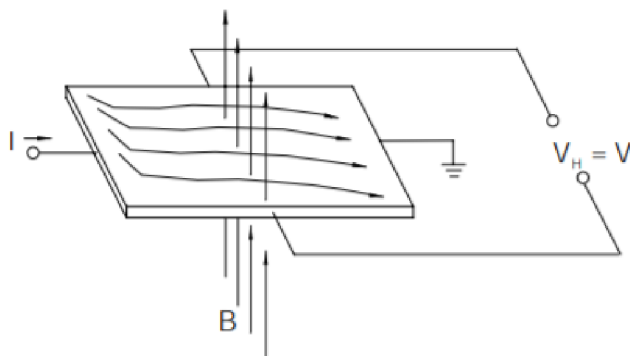
Hallova sonda je polovodičová súčiastka riadená magnetickým poľom. Pracuje na princípe Hallovho javu ktorý v roku 1876 objavil americký fyzik E.H.Hall. Článok sondy pozostáva z tenkého plátku polovodivého materiálu ktorým pozdĺžne prechádza elektrický prúd, upevneného na dielektrickú podložku. [15] Konštrukcia Hallovej sondy je zobrazená na obrázku 4.1.

Hallove sondy sa delia na:

- Analógové - na výstupe je napätie priamo úmerné pretekajúcemu prúdu a pôsobiacej magnetickej indukcií.
- Digitálne - výstupom je číslcový formát dát.

4.1.1 Hallov jav

V prípade že na sondu, ktorou prechádza elektrický prúd kolmo pôsobí magnetické pole, dochádza k priečnemu vychyľovaniu elektrického náboja. Tak vzniká na priečných elektródach Hallovo napätie. Výstupný signál je priamo úmerný veľkosti prúdu a magnetického toku.[15] Tento jav je znázornený na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Hallova sonda (obrázok prevzatý z [15])

- V_H - vzniknuté Hallovo napätie
- I - el. prúd prechádzajúci cez sondu
- B - pôsobenie magnetického poľa

4.1.2 Využitie Hallovho javu

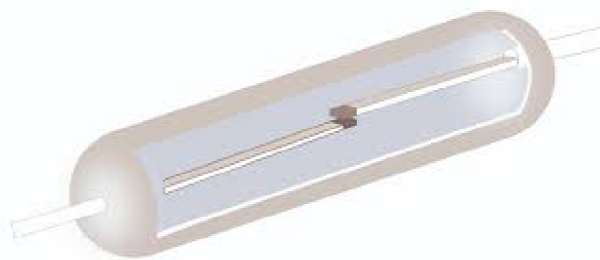
Hallov jav sa používa v Hallových sondách určených pre meranie parametrov magnetických polí. Vzniknuté Hallovo napätie sa mení v závislosti od pôsobenia zložky magnetickej indukcie ktorá je kolmá na senzor. Vhodným zapojením sa Hallove sondy dajú použiť na zmeranie zrýchlenia, rotácie, polohy, uhla natočenia a podobne. Hallove sondy sú vhodné na implementáciu CMOS technológiou, to znamená že je možné ich priamo na čipe usporiadať a spracovať alebo zosilniť ich signál.[20]

4.2 Jazýčkový spínač

Jazýčkový senzor je najrozšírenejším senzorom ktorý môžeme nájsť v cyklopočítačoch pracujúcich bez GPS. Bol vynájdený v Bellových laboratóriách v roku 1936 Walterom B. Elwoodom. Uplatnenie si tento vynález našiel až v roku 1940, keď sa začal používať vo firme Western Electric na telekomunikáciu.[7]

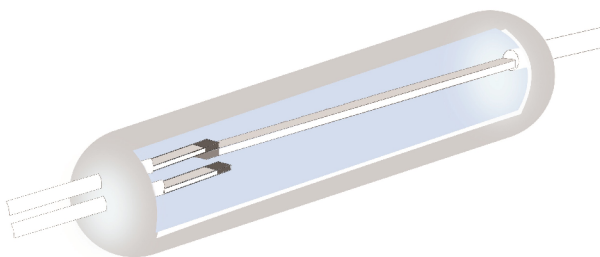
4.2.1 Princíp jazýčkového spínača

Jazýčkový spínač pozostáva z dvoch, medzerou oddelených feromagnetických plieškov zložených zo železa a niklu ktoré sú hermeticky uzavreté v sklenenej kapsuli vyplnenej vákuom. Kritickým prvkom kvality spínača je miesto, kde sa spája železo a sklo. Tieto dva materiály musia mať pri rôznych teplotách rovnakú rozťažnosť aby nedochádzalo ku prasklinám a netesným spojom. Pliešky sa dotknú za pôsobenia magnetického poľa vytvoreného buď permanentným magnetom alebo cievkou, čím nastane zopnutie el. obvodu. Ak sa magnetické pole vzdialí, pliešky sa vrátia do svojej bežnej pozície. Kontaktné časti na oboch plieškoch sú z veľmi tvrdého materiálu, typicky Rhodia alebo Ruthenia čo má za následok dlhú životnosť súčiastky. Takýto spínač má skratku NO (normally open 4.2).[7]



Obrázek 4.2: Jazýčkový spínač Normally open (prevzaté z [11])

Existuje ešte ďalší typ jazýčkového spínača pri ktorom je spínač stále v určitej pozícii zatvorený (NC - Normally closed 4.3). Táto súčiastka obsahuje jeden pohyblivý a dva stacionárne feromagnetické pliešky (normálne otvorený a normálne zatvorený) spolu obalené v sklenenej kapsuli vyplnenej vákuom. Ak na spínač nepôsobí magnetické pole, pohyblivý pliešok je v kontakte s normálne zatvoreným plieškom. Ak na súčiastku začne pôsobiť magnetické pole v určitej intenzite, pliešok sa vychýli do opačnej polohy a tak uzavrie elektrický obvod. [7]



Obrázek 4.3: Jazýčkový spínač Normally closed (prevzaté z [11])

4.2.2 Použitie

Jazýčkové spínače majú v modernom svete množstvo využití. Najčastejšie sa používajú ako magnetické senzory v mechanických systémoch. Napríklad:

- Snímanie otvorenia okien alebo dverí pri systémoch pre zabezpečenie domov [7]
- Snímanie otvorenia/zatvorenia obrazovky notebooku kvôli uspaniu alebo hibernácií pre úsporu batérie [7].
- Meranie počtu rotácií kolesa bicykla na ktorom je umiestnený magnet. [7]

4.3 MEMS Akcelerometer

Akcelerometer je elektromechanické zariadenie použité tam, kde je potrebné merať statickú a dynamickú akceleráciu objektu. Zrýchlenie objektu je fyzikálna veličina ktorú je možné zistiť deriváciou rýchlosti objektu podľa času. Statické zrýchlenie je konštantná gravitačná

sila pôsobiaca na objekt. Podľa merania statického zrýchlenia je možné zistiť napríklad uhol naklonenia objektu oproti vertikálnej osi. Pri meraní dynamického zrýchlenia je možné zistiť pohyb objektu alebo jeho vibrácie. MEMS¹ senzory sa oproti klasickým akcelerometrom líšia rozmermi, spotrebou energie a presnosťou. Technológia MEMS umožňuje zmenšenie rozmerov rôznych senzorov ako napríklad akcelerometer, gyroskop alebo magnetometer na veľkosť pár milimetrov. MEMS akcelerometre sú schopné merať zrýchlenie v jednej, dvoch alebo viacerých rovinách. V dnešnej dobe sú najrozšírenejšie troj osé akcelerometre. Tieto zariadenia zaznamenávajú dáta v troch navzájom kolmých osách - x, y a z. [26]

Typické použitie akcelerometru je napríklad v chytrých hodinách pre meranie srdcového tepu, detekovanie nárazu auta pre automatické nafúknutie airbagu, horizontálna stabilizácia dronu a podobne.[26]

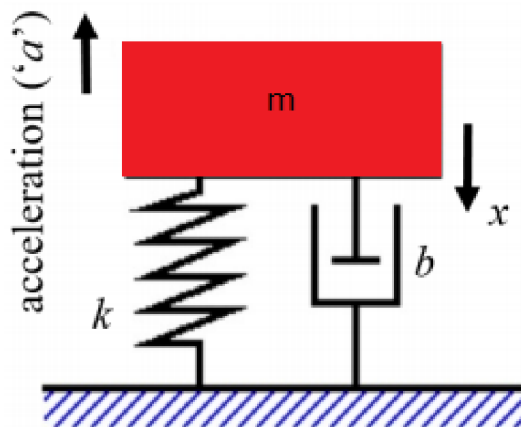
4.3.1 Princíp akcelerometera

Princíp akcelerometra je založený na Newtonovom druhom pohybovom zákone[34]. Tento zákon hovorí, že sila ktorá pôsobí na teleso je priamo úmerná súčinu hmotnosti telesa a jeho zrýchlenia[23]. Tento zákon popisuje vzťah 4.1 v ktorom m zobrazuje hmotnosť telesa, a zobrazuje zrýchlenie, t zobrazuje čas a hodnota f je sila pôsobiaca na teleso.

$$f(t) = ma(t) \quad (4.1)$$

Z toho vyplýva, že zrýchlenie vytvára silu pôsobiacu na objekt ktorá je zachytávaná mechanizmom akcelerometra. Akcelerometer je zariadenie zložené z troch častí, ktoré popisuje obrázok 4.4. Časť m znázorňuje hmotu upevnenú v priestore pomocou pružiny o tuhosti k . Hmotu používanú v akcelerometroch sa nazýva seizmická. Fyzický alebo prirodzený tlmič je na obrázku reprezentovaný označením b slúžiaci na tlmenie kmitov hmoty.[22]

V momente, keď zariadenie zmení polohu alebo vykoná pohyb, pružina sa pôsobením sily deformuje. Táto sila je rovná súčinu hmotnosti a akcelerácie 4.1. Pohyb pružiny je zaznamenávaný a prevedený na elektrický signál.[34]



Obrázok 4.4: Princíp činnosti akcelerometra (prevzaté a upravené z [34])

¹MEMS - Micro electro mechanical systems(Mikro elektro-mechanické systémy)

Kapitola 5

Možnosti bezdrôtového prenosu

Táto kapitola sa zaoberá prehľadom najrozšírenejších technológií pre bezdrôtový prenos medzi zariadeniami. V nasledujúcich sekciách sú popísané protokoly Bluetooth Low Energy a Zigbee.

5.1 Bluetooth Low Energy

Protokol Bluetooth Low Energy bol zavedený spolu s klasickým Bluetooth verzie 4.0 v roku 2010. Protokol slúži hlavne pre komunikáciu medzi zariadeniami s nízkou spotrebou elektrickej energie na krátke vzdialenosti. Zmyslom tejto technológie je pripojiť sa na zariadenia blízko užívateľa (PAN ¹). Technológia BLE je podporovaná v mobilných telefónoch a tabletoch čo spôsobuje prudký nárast jej používania. Najbežnejším použitím technológie Bluetooth Low Energy je prenášanie dát zo senzorov v chytrej elektronike. Tieto senzory dokážu byť napájané iba z gombíkovej batérie a vydržať v prevádzke mesiace. Minimálna spotreba Bluetooth LE je do $2\mu\text{A}$. Pri najvyššej spotrebe je to do $15\mu\text{A}$. Technológia využíva pre prenos dát 2.4 až 2.485GHz ISM pásmo. Použitím tejto technológie je možné pripojiť sa k zariadeniu vo vzdialenosti do 100m s prenosovou rýchlosťou 1Mb za sekundu.

Zariadenie používajúce protokol Bluetooth LE môže dáta odosielať dvoma spôsobmi. Prvým spôsobom je broadcasting - pri tomto spôsobe odosielania môžu k správe pristúpiť všetky zariadenia podporujúce technológiu Bluetooth Low Energy. Týmto spôsobom je vykonávaný aj advertising zariadenia. Broadcasting je pri tomto protokole jedinou možnosťou odosielania správ na viaceré periférie. Pri odosielaní správ viacerým zariadeniam je nemožné použiť obojsmernú komunikáciu medzi zariadeniami. Pre možnosť použitia obojsmernej komunikácie je nutné pripojenie dvoch zariadení.

Zariadenia môžu nadobúdať dve role:

- Master - Zariadenie typu master periodicky skenuje a detekuje advertise správy. V prípade detekcie vhodnej advertise správy, nadväzuje komunikáciu so serverom.
- Slave - Zariadenie odosiela advertise správy a potvrdzuje pripojenia. Zariadenie typu slave je vo väčšine prípadov server.

Po nadviazaní spojenia prestane server odosielať advertise správy a začne sa point-to-point komunikácia medzi dvoma pripojenými zariadeniami.[31]

¹PAN - Personal Area Network

5.2 Zigbee

Zigbee je štandard, ktorý definuje kolekciu protokolov potrebných pre bezdrôtový prenos malých objemov dát, nízkou prenosovou rýchlosťou na pomerne krátku vzdialenosť. Zariadenia podporujúce Zigbee technológiu môžu pracovať na frekvenciách 868MHz, 915MHz a 2.4GHz. Maximálna prenosová rýchlosť medzi zariadeniami je 250Kbps. Technológia Zigbee je využívaná hlavne v senzorových zariadeniach napájaných z batérie, ktoré vyžadujú nízku spotrebu energie.

Štandard vytvára sieťovú architektúru zariadení na rozdiel od Bluetooth Low Energy s point-to-point pripojením. Pre uvedené skutočnosti je vhodný napríklad pre prepojenie širokej škály inteligentných zariadení v dome alebo monitorovanie statiky budov. Rozsah Zigbee siete je rozšíriteľný použitím routerov.[9]

Kapitola 6

Návrh a praktická realizácia hardware

V nasledujúcej kapitole bude popísaná praktická realizácia hardwarovej časti bakalárskej práce, od výberu súčiastok, cez návrh viacerých iterácií dosiek plošných spojov, až po výrobu finálneho výrobku. Pri návrhu dosiek plošných spojov bola pozornosť upriamená hlavne na nízku spotrebu energie, aby sa maximalizovala doba, po ktorú môže byť zariadenie v nepretržitej prevádzke. Návrh prototypu výrobku sa skladá z dvoch dosiek plošných spojov. Jedna doska má funkciu senzoru, na ktorej sa nachádza akcelerometer s typovým označením FXOS8700. Druhá doska má za úlohu prijímať dáta odosielané senzorom a ich následný výpis na E-Ink display.

6.1 Výber vhodných komponent

V tejto sekcii budú popísané komponenty použité v prvej iterácii vyrobených dosiek. Keďže bakalárska práca je vykonávaná v spolupráci s firmou NXP Semiconductors, bolo cieľom primárne používať komponenty pre moduly *tachometer* a *senzor* práve od firmy NXP. Preto bol pre obidve dosky zvolený mikrokontrolér s typovým označením QN9080 a pre získavanie dát o pohybe a rotácií bol zvolený 6 osý senzor takisto od firmy NXP.

6.1.1 Mikrokontrolér

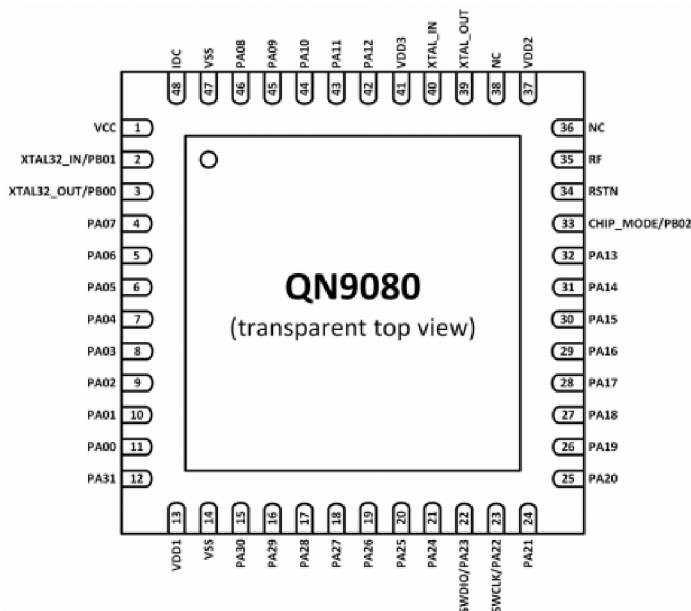
Ako srdce oboch dosičiek bol vybraný mikrokontrolér od firmy NXP s typovým označením QN9080 z dôvodu jeho veľmi nízkej spotreby energie. Procesor pracuje na jednom 32 bitovom jadre ARM-Cortex M4F. Umožňuje používanie technológie Bluetooth Low Energy verzie 5.0. Pre dosky plošných spojov bola použitá verzia s púzdom HVQFN48 so 48 pinmi kvôli možnosti jednoduchého osadenia na fakulte.

Architektúra procesoru

Architektúra ARM Coretx M4 sa skladá zo štyroch zberníc. Jedna systémová zbernica, jedna “AHB-Lite” zbernica a zbernice “I-Code” a “D-Code”. I-Code slúži pre výber inštrukcií (Fetch) a D-Code slúži pre prístup k dátam. MCU používa viacvrstvovú AHB maticu ktorej účelom je pripojenie periférií ku zberniciam.

ARM Cortex M4 obsahuje aj integrovaný koprocesor FPU alebo Floating point unit umožňujúci procesoru vykonávať operácie s číslami s desatinnou čiarkou a MPU alebo Memory protection unit pre ochranu kritických dát v užívateľskej aplikácii.[25]

Vývody mikrokontroléru a ich použitie



Obrázek 6.1: Piny mikrokontroléru v púzdre HVQFN48 (prevzaté z [25])

Mikrokontrolér ktorý bol zvolený pre túto prácu má v púzdre HVQFN 48 pinov znázornených na obrázku 6.1. Každý jeden pin môže nadobúdať až 8 rôznych digitálnych alebo analógových funkcií. Medzi základné funkcie pinov patrí napájanie, zapojenie externých oscilátorov, debuggovanie a programovanie pomocou SWD, ISP, reset zariadenia, GPIO¹ a SPI/I²C rozhranie. Informácie v tejto sekcii sú čerpané z technickej dokumentácie QN9080.[25]

Na mikrokontroléri sa nachádzajú celkovo štyri napájacie piny - VCC, VDD1, VDD2 a VDD3. Spôsob akým sú tieto piny zapojené je závislý na použití externého alebo interného DC-DC konvertoru. Pin VCC je zdroj napájania zariadenia, schopný pracovať s napätím od 1.6V po 3.6V. Pin VDD1 je zdrojom napájania pre digitálne a pin VDD3 naopak pre analógové časti mikrokontroléru. Pin VDD2 je zodpovedný za napájanie častí zariadenia spojených s bezdrôtovým prenosom. Piny VSS slúžia na uzemnenie zariadenia. V tejto práci je čip zapojený vo verzii bez interného DC-DC prevodníku.

Na pripojenie externých oscilátorov slúžia piny *XTAL32_IN*, *XTAL32_OUT* pre 32,768kHz kryštál a *XTAL_IN*, *XTAL_OUT* pre 16/32MHz kryštál. Mikrokontrolér disponuje ešte ďalšími dvoma internými oscilátormi. Interné oscilátory majú za úlohu generovanie RTC hodín. Externé kryštály generujú systémové hodiny a hodiny potrebné pre bezdrôtový prenos.

¹GPIO - General purpose input output

Mikrokontrolér podporuje až šesť inštrukčných breakpointov a pre zjednodušenie debugu aj SWO² pin. SWD rozhranie je vodičmi pripojené k pinom PA20, PA22, PA23, a RSTN³. Tieto piny sú po resete štandardne nastavené na funkciu SWD.

Zariadenie má dva GPIO porty, a to GPIOA a GPIOB ktoré poskytujú dokopy 35 GPIO pinov. Tieto piny je možné dynamicky konfigurovať ako vstupné alebo výstupné. Po resete zariadenia sú štandardne všetky GPIO piny nastavené ako vstupné s logickou hodnotou 1 a aktivovaným pull-up rezistorom.

6.1.2 Podpora pre nabíjanie akumulátorov

Väčšina lacnejších komerčných zariadení pre snímanie dát o jazde na bicykli nedisponuje možnosťou externého nabíjania. Po vyčerpaní kapacity batérie musí užívateľ zariadenia vymeniť použitú gombíkovú batériu, aby zariadenie mohlo zas pracovať. V navrhnutom prototypovom zariadení má užívateľ možnosť nabíjať obidva moduly externe pomocou USB konektoru s napätím 5V[21].

Akumulátory

Akumulátory boli zvolené pre čo najdlhšiu pracovnú dobu zariadenia s prihliadnutím na to, aby rozmery výsledného výrobku boli čo najmenšie a pri jazdení na bicykli užívateľovi tachometru neprekážali.

Pre modul senzoru bola zvolená Lítiovo-polymérová batéria s kapacitou 250mAh a výstupným napätím 3.7V od firmy CELLEVIA Batteries s rozmermi 30x20x5mm. Pri tomto module bolo najviac prihliadané na veľkosti jednotlivých súčiastok, aby celkový rozmer a váha zariadenia boli čo najmenšie. Vysoká váha sensorového modulu v kolese by mohla mať za následok zhoršenie jazdných vlastností bicykla a s tým spojené aj zhoršenie výkonu jazdca alebo v najhoršom prípade zranenie. [2]

Pre modul umiestnený na riadidlách bicykla bola zvolená Lithium-Ion batéria s kapacitou až 1.3Ah, výstupným napätím 3,7V a rozmermi 56x35x7mm. Pri tomto module nebolo nutné zvoliť menšie rozmery oproti väčšej kapacite batérie, pretože bol zvolený väčší displej kvôli lepšej viditeľnosti zobrazovaných dát. Menšie rozmery batérie by výslednú veľkosť modulu neovplyvnili.[10]

Integrovaný nabíjací obvod

Pre nabíjanie Lítiových batérií bol na oboch doštičkách použitý čip od firmy Texas Instruments s typovým označením BQ24040. Zariadenie je schopné napájať celý obvod modulu paralelne s nabíjaním batérie, pokiaľ spotreba zariadenia nie je tak vysoká, aby zabránila plnému nabitíu batérie do 10 hodín. Zariadenie disponuje funkciou kontroly, či je batéria k modulu pripojená. BQ24040 je napájaný z USB konektoru na obidvoch moduloch.[16] Batérie sú nabíjané v troch fázach:

- Zotavenie batérie - prvá fáza je zotavenie batérie po úplnom vybití.
- Konštantný prúd - druhá fáza je rýchle nabíjanie batérie konštantným prúdom.
- Konštantné napätie - tretia fáza zaisťuje bezpečné dobitie batérie do jej plnej kapacity.

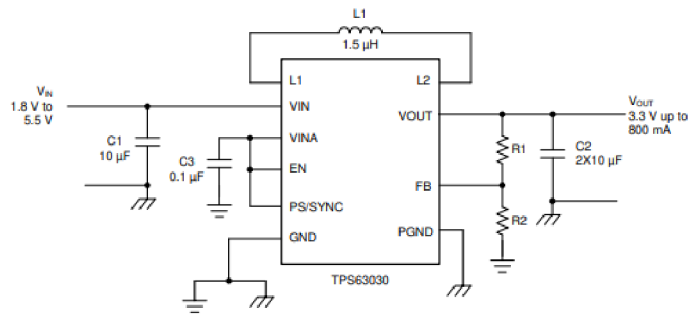
²SWO - Serial wire output pin

³RSTN - Reset pin mikrokontroleru

Fázu rýchleho nabíjania signalizuje LED dióda. Pri fáze zotavovania batérie a konštantného napätia LED dióda nesvieti[16] .

6.1.3 Realizácia napájacieho systému

Keďže väčšina súčiastok ako MCU alebo akcelerometer pracujú v rozmedzí napájacieho napätia od 1.6 do 3.6V a z obidvoch batérií vychádza napätie 3.7V, je v zariadení potrebný napätový regulátor aby sa predišlo poškodeniu súčiastok. Ako napätový regulátor v návrhu prvej iterácií dosťičiek bola zvolená súčiastka s typovým označením TPS63030 takisto od firmy Texas Instruments.[17] Na obrázku 6.2 je zobrazené typické obvodové zapojenie zariadenia TPS63030.



Obrázek 6.2: Typické zapojenie napätového regulátoru TPS63030 (prevzaté z [17])

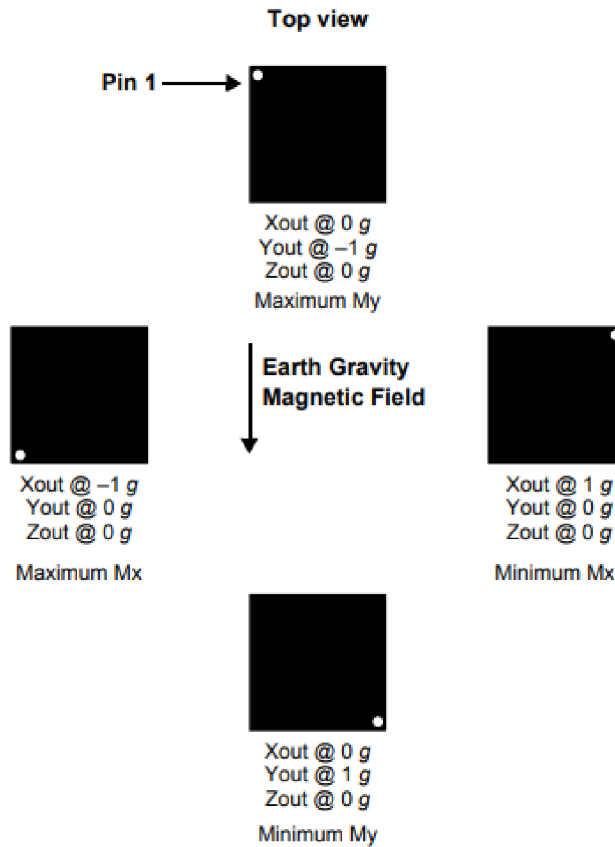
Maximálny priemerný prúd v spínačoch je obmedzený na 1A. Hodnota výstupného napätia zo zariadenia je nastaviteľná od 1.2 do 5.5V [17]. Výstup závisí na deliči napätia za čipom. Hodnota odporov v napätovom deliči sa vypočíta použitím vzťahu 6.1. V ktorom $R1$ a $R2$ značia hodnoty rezistorov v odporovom deliči, hodnota V_{OUT} je veľkosť výstupného napätia z regulátoru a hodnota V_{FB} je veľkosť napätia medzi pinom FB, odporom $R2$ a zemou. Táto hodnota V_{FB} je pri použití 200k Ω rezistoru na pozícii $R2$ 500mV.[17]

$$R1 = R2 \times \left(\frac{V_{OUT}}{V_{FB}} - 1 \right) \quad (6.1)$$

6.1.4 Akcelerometer a magnetometer

Na trhu sa nachádza nespočetné množstvo rôznych akcelerometrov. Pre prototyp modulu senzoru bol vybraný senzor s typovým označením FXOS8700 zobrazený na obrázku 6.3. Jedná sa o 6 osý senzor pozostávajúci z troj-osého akcelerometra a troj-osého magnetometra v jednom zariadení umiestnenom v QFN púzde. Čip je vyrobený firmou NXP. Tento senzor má veľmi nízku spotrebu energie. Senzor je v návrhu obvodového zapojenia prototypu pripojený ku SPI rozhraniu mikrokontroléru QN9080 spôsobom “point-to-point” (Na SPI zbernici sa nachádza iba jedno zariadenie typu “Master” a jedno zariadenie typu “Slave”). FXOS8700 neumožňuje použitie viacerých zariadení typu “Slave” na jednej SPI zbernici.[24] Komunikácia SPI bola vybraná kvôli vyššej prenosovej rýchlosti dosahujúcej až 1Mb/s. Pri SPI komunikácii je typicky mikrokontrolér zariadenie typu “Master” a akcelerometer zariadenie typu “Slave”. Zariadenie ktoré je na SPI zbernici typu “Master” vždy nadväzuje a riadi komunikáciu.[5]

Interný magnetometer má fixný rozsah merania $\pm 1200T$. Na výstupe akcelerometra je 14 bitový a na výstupe magnetometra 16 bitový analógovo-digitálny prevodník. Akcelerometer je možné dynamicky nastaviť na hodnoty $\pm 2g \pm 4g \pm 8g$. [24]



Obrázek 6.3: Znázornenie orientácie akcelerometra (prevzaté z [24])

SPI komunikácia

Komunikácia s akcelerometrom začína v momente, keď je na CS pin mikrokontroléru nastavená logická 0. Táto hodnota musí byť na pine až po koniec transakcie kedy je nastavená zas na logickú 1. Následne začne zariadenie typu master generovať SCLK signál a prenášať dáta cez SPI MOSI pin. Dáta z akcelerometra sú prenášané cez MISO pin do procesoru ak je RW bit nastavený na 0. V tejto sekcii boli informácie čerpané z [24].

Aby bola zachovaná funkčnosť, prenášané dáta z procesoru musia byť v nasledujúcom formáte:

Byte0 : R/W, ADDR[6], ADDR[5], ADDR[4], ADDR[3], ADDR[2], ADDR[1], ADDR[0],

Byte1 : ADDR[7], X, X, X, X, X, X, X,

Byte2 : DATA[7], DATA[6], DATA[5], DATA[4], DATA[3], DATA[2], DATA[1], DATA[0].

- Bit R/W nastavuje zápis alebo čítanie dát z akcelerometra. Pre zápis dát je na tento bit nastavená hodnota 1. Pre čítanie je na bit nastavená hodnota 0
- ADDR je 8 bitová adresa registru.
- DATA je 8 bitov dát ktoré majú byť zapísané do registru na adrese ADDR.
- X sú ignorované bity

6.1.5 E-Ink displej

Kvôli širšiemu zornému uhlu bol v návrhu prototypu zvolený E-Ink displej veľkosti 1.54 palcov od spoločnosti Waveshare s rozlíšením 200×200 pixelov. Displej poskytuje vysoký kontrast a dáta ktoré sú na ňom zobrazované sú viditeľné aj pri silnom slnečnom žiarení, čo je žiadúce pre účel tachometru používaného vo vonkajšom prostredí[8]. Ďalšou výhodou tohoto displeja je veľmi nízka spotreba energie.[6]

E-Paper modul je zapojený ku mikrokontroléru prostredníctvom SPI zbernice a pinov DC, RST a BUSY.[8] Popis všetkých pinov modulu je zobrazený v tabuľke 6.1.

Tabuľka 6.1: Piny displeja

Pin	Funkcia
VCC	Napájanie 3.3V
GND	Uzemnenie
DIN	SPI MOSI
CLK	SPI CLK
CS	SPI CS
DC	Zápis príkazu alebo dát
RST	Reset pin
BUSY	Busy pin

Princíp

E-Paper je technológia ktorá má napodobňovať atrament na bielom papieri. Hlavným princípom E-Ink displeja je, že na rozdiel od ostatných displejov, E-Paper nemá žiadne podsvietenie. Iba odráža svetlo. To znamená, že obraz alebo písmo na displeji môže byť zobrazované neustále, aj bez napájania elektrickou energiou.[6]

6.1.6 Ostatné komponenty

Ostatné zvolené komponenty sú kvôli minimalizovaniu rozmerov výsledných dosiek plošných spojov s púzdom o veľkosti 0603. Takéto súčiastky nezaberajú na doske veľa miesta a je možné ich osadiť ručne. V tabuľke 6.2 sú zobrazené jednotlivé súčiastky potrebné pre minimálne zapojenie mikrokontroléru QN9080 bez použitia interného DC-DC prevodníku. Zoznam všetkých súčiastok je zobrazený v prílohe A.3.

Tabulka 6.2: Ostatné súčiastky potrebné pre minimálne zapojenie QN9080

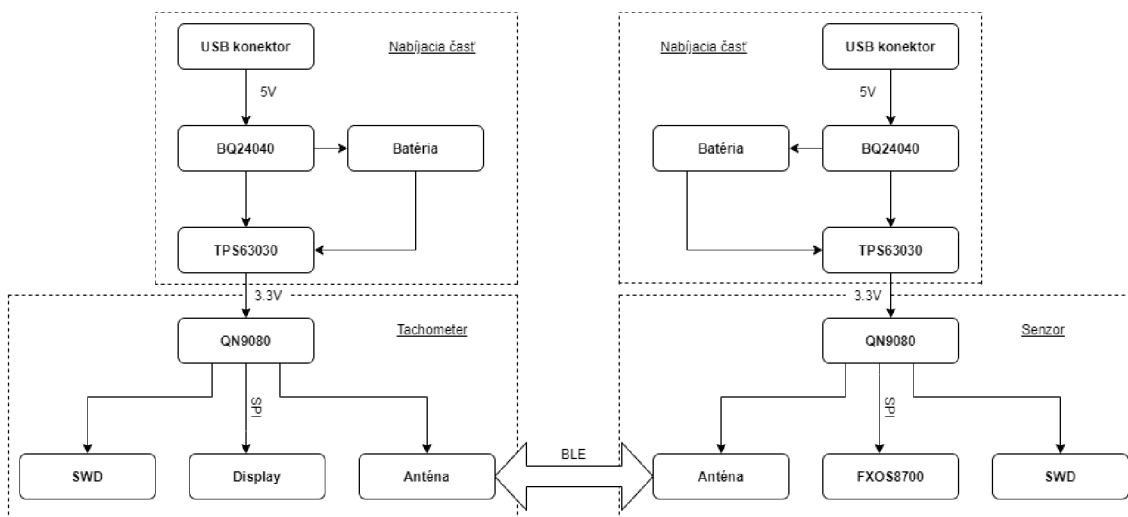
Označenie	Hodnota
C	4.7uF
C	0.1uF
C	1.8pF
C	8.2pF
Y	32MHz
Y	32.768kHz
L	3.3nH

6.2 Návrh a realizácia Dosiek plošných spojov

Návrh všetkých zapojení a dosiek plošných spojov bol vykonaný v programe Autodesk Eagle. Výrobok sa skladá z dvoch, navzájom komunikujúcich doštičiek používajúcich technológiu Bluetooth Low Energy ktorú poskytuje mikrokontrolér QN9080. Tento mikrokontrolér je srdcom obidvoch doštičiek, či už dosky “sensor” alebo “tachometer”. Obidve dosky sa skladajú z dvoch hlavných častí. Nabíjacia časť je tvorená USB konektorom napojeným na nabíjací čip BQ24040 na ktorý je pripojená batéria. Napätie v zariadení musí byť regulované, preto je za čip BQ24040 zapojený regulátor napätia ktorý napája celý funkčný blok modulu stabilným napätím 3.3V. Nabíjacia časť je v obidvoch moduloch rovnaká. Funkčná časť modulov je popísaná v nasledujúcich sekciách. Obrázok 6.4 popisuje diagram spolupráce modulu senzoru a tachometru umiestneného na riadítkach bicykla.

Požiadavky na výsledný výrobok:

- Malé rozmery modulu senzoru
- Cena kenkurujúca komerčným zariadeniam
- Stabilná Bluetooth Low Energy komunikácia



Obrázek 6.4: Diagram spolupráce oboch prototypových dosiek

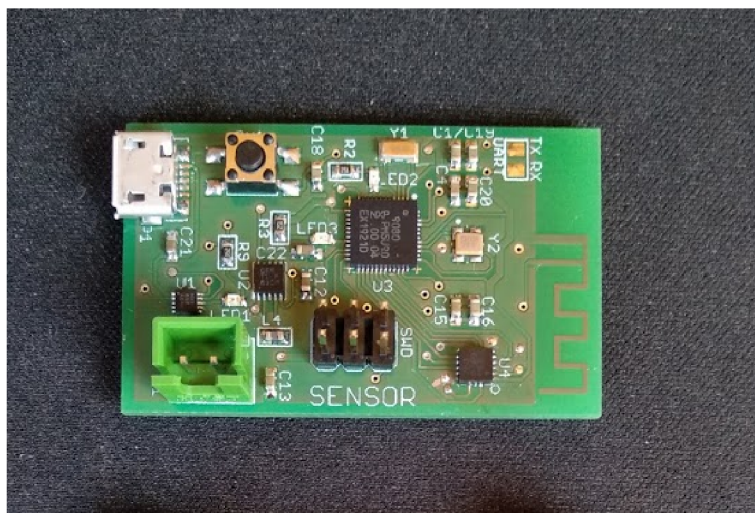
6.2.1 Prvá iterácia dosiek plošných spojov

Táto podkapitola popisuje postup návrhu, výroby a testovania prototypu, alebo prvej iterácie dosiek plošných spojov pre moduly senzor a tachometer. Zaoberá sa problémami vzniknutými po výrobe a osadení dosiek. Následne popisuje návrh a výrobu vývojovej dosky.

Sensor

Pre snímanie a odosielanie dát o pohybe a rotácií kolesa na bicykli slúži modul s označením "Sensor". Obvodové zapojenie a návrh dosky plošných spojov boli navrhnuté v programe Eagle. Následne boli materiály pre výrobu dosiek odoslané firme Gatema. Z dôvodu zmenšenia veľkosti modulu bola doska plošných spojov navrhnutá ako dvojvrstvová. Rozmery navrhutej DPS⁴ sú $43 \times 26\text{mm}$. Pri tomto module zohráva jeho výsledná veľkosť najväčšiu rolu. Z toho dôvodu bol dôraz kladený na minimalizovanie rozmerov. Na voľných plochách spodnej aj vrchnej vrstvy DPS je rozliata uzemňovacia plocha medi. Základom modulu sú dva komponenty, mikrokontrolér a akcelerometer s magnetometrom. Ďalšie použité komponenty v module sú popísané v sekcii 6.1. Programovanie a debuggovanie MCU je možné pomocou pripojenia externej J-Link sondy na šesť pinový SWD konektor umiestnený na doske. Tento konektor obsahuje piny VCC, GND, SWO, SWDIO, SWCLK a RESET[27]. Pre možnosť používania kontrolných výpisov bez externej J-Link sondy, sú vyvedené z mikrokontroléru dve vodivé cesty, a to UART TX a RX. Na doske sa nachádza jedno tlačidlo ktorým je možné resetovať mikrokontrolér. Na pinoch "PA25" a "PA07" sú pripojené LED diódy v SMD púzdre 0603 pre signalizačné účely. O prenos dát pomocou Bluetooth Low Energy do zobrazovacieho modulu umiestneného na riadidlách bicykla sa stará leptaná anténa pripojená na "RF" pin mikrokontroléru. Napájanie modulu je riešené pomocou malého akumulátoru s kapacitou 250mAh[2]. Tento akumulátor je možné nabíjať pripojením USB káblu. Pomocou MicroUSB konektoru je možné napájať aj celý obvod bez nutnosti pripojenia batérie. O túto vlastnosť sa stará integrovaný nabíjací čip s typovým označením BQ24040 od Texas Instruments. Keďže základné komponenty v module sú schopné pracovať v rozmedzí napätia od 1.6 do 3.6V, napäťovým stabilizátorom bolo napätie stabilizované na 3.56V. Táto hodnota bola dosiahnutá zvolením vhodných rezistorov v odporovom deliči za stabilizátorom. Hodnota rezistoru R2 bola zvolená podľa odporúčania výrobcu, a to 200k Ω . Hodnota rezistoru R1 bola vyrátaná pomocou vzťahu 6.1, z ktorého vyplynula hodnota 1.24M Ω . Toto pomerne vysoké, aj keď stále povolené napätie však pravdepodobne spôsobilo trvalé poškodenie mikrokontroléru QN9080 a akcelerometra FX8700CQR1, ktoré už nebolo možné znovu použiť ani po zmene rezistoru R1 na hodnotu 1M Ω . Táto zmena rezistoru spôsobila zníženie výstupného napätia z regulátoru na 3V. Následným testovaním boli zistené ešte ďalšie chyby v návrhu. Napríklad chybné zapojenie SWD rozhrania pre naprogramovanie a debuggovanie mikrokontroléru, v ktorom nebol RESET pin SWD rozhrania pripojený na RESET pin mikrokontroléru. Táto chyba sa pravdepodobne pre testovacie účely dala obísť prepojením vodiča od nožičky tlačidla vykonávajúceho reset funkciu mikrokontroléru a SWD RESET pinu. To sa zistiť však nepodarilo z dôvodu predchádzajúceho poškodenia hlavných súčiastok. Prvú iteráciu osadenej dosky sensorového modulu je možné vidieť na obrázku 6.5.

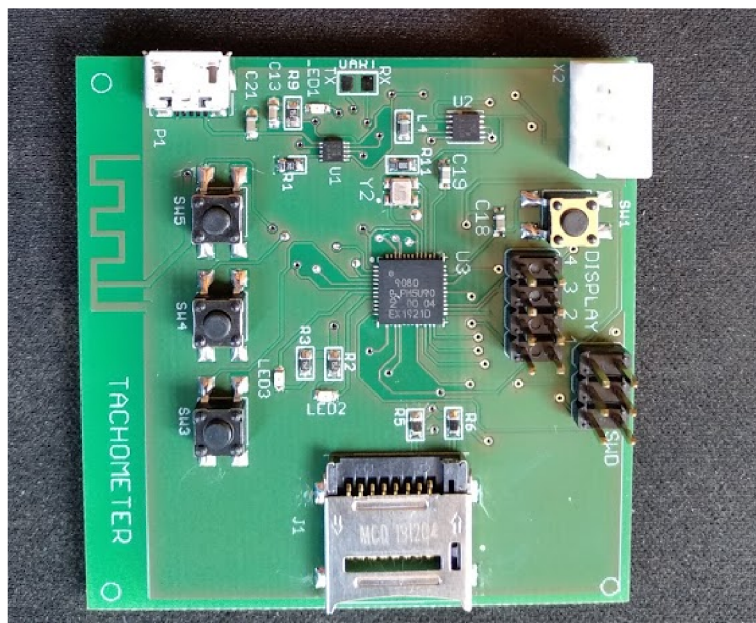
⁴DPS - Doska plošných spojov



Obrázek 6.5: Prvá iterácia dosky modulu “Sensor”

Tachometer

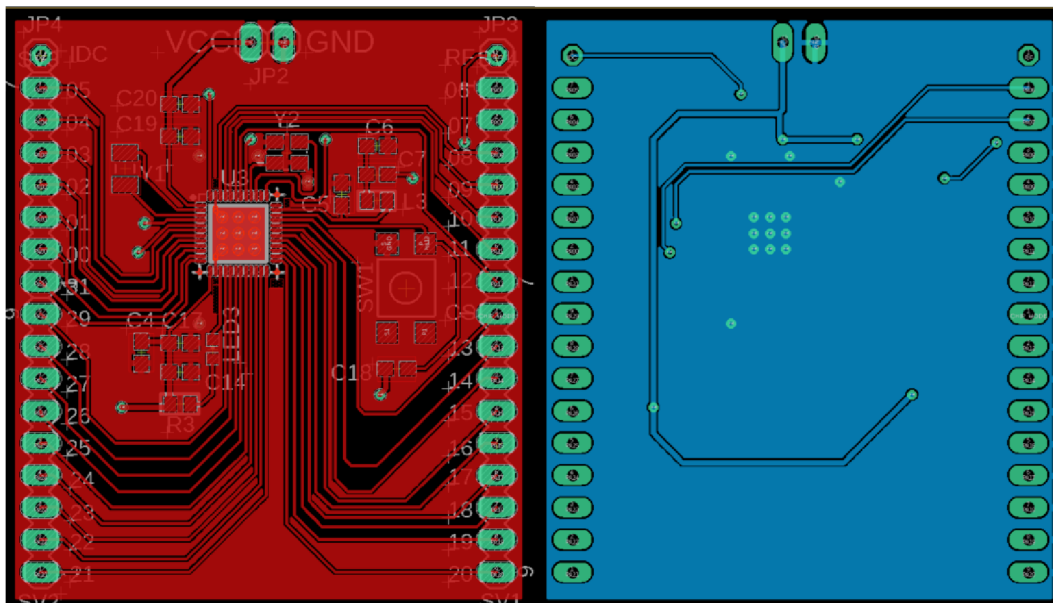
Aby sa dáta o jazde na bicykli dostali k užívateľovi, bolo nutné vyvinúť ešte jeden modul, ktorý prijíma dáta odosielané z modulu senzoru umiestneného vo výplete kolesa bicykla, spracuje ich a následne ich v pochopiteľnej forme vypíše na displej. Zapojenie a doska plošných spojov bola podobne ako pri doske senzoru navrhnutá v programe Eagle a vyrobená firmou Gatema. Mikrokontrolér je možné naprogramovať a debugovať pomocou externej J-Link sondy pripojenej na šesť pinový konektor. Pre účely signalizovania vykonaných operácií spojených s Bluetooth Low Energy prenosom dát sú na doske umiestnené dve LED diódy v SMD púzdre. Oproti modulu senzoru sa v zapojení tohoto modulu nachádzajú až štyri tlačidlá, jedno z nich je pre možnosť resetovania mikrokontroléru. Ostatné tlačidlá sú pre možnosť nastavenia údajov a pohybu v užívateľskom rozhraní. Za prijímanie dát z modulu senzoru je zodpovedná 2.4GHz leptaná anténa zapojená na pin RF mikrokontroléru. Na tejto iterácii dosky sa nachádza aj konektor pre vloženie SD karty na ktorú je možné ukladať dlhodobé štatistiky dát o jazde na bicykli. Hlavnou funkciou tohoto modulu je zobrazovanie prijatých hodnôt na displeji. Displej je možné pripojiť pomocou osem pinového konektoru umiestneného na doske. Medzi mikrokontrolérom QN9080 a E-Ink displejom prebieha komunikácia pomocou SPI rozhrania. Okrem klasických vodičov používaných SPI rozhraním ako sú MOSI, SCLK, a SS bolo nutné pre zaistenie funkčnosti displeju pridať ešte vodiče BUSY, RESET, DC a napájanie. Odporúčaná hodnota vstupného napätia je pre E-Ink display 3.3V. Pri testovaní tohoto modulu nastala rovnaká chyba ako pri module senzoru. Mikrokontrolér dané napätie neznesol a nenávratne sa poškodil. Ďalšie testovanie teda nebolo možné ani po zmene rezistoru R2. Osadená doska modulu tachometru je zobrazená na obrázku 6.6.



Obrázek 6.6: Prvá iterácia dosky modulu “Tachometer”

Vývojová doska

Pre testovanie základných operácií s mikrokontrolerom QN9080 bola vyvinutá doska plošných spojov zobrazená na obrázku 6.7, s minimálnym zapojením súčiastok a pinmi MCU vyvedenými na pin-header. Zapojenie mikrokontroléru je bez interného DC-DC konvertoru, pretože napájaním pre dosku je zdroj jednosmerného napätia pripojený na piny “VCC” a “GND”. Táto doska slúžila hlavne na testovanie správneho zapojenia mikrokontroléru, SWD rozhrania a odkrokovaní jednoduchých aplikácií vo vývojovom prostredí MCUXpresso za účelom doladovania finálnych dosiek “tachometer” a “sensor”. Na debugovanie a naprogramovanie MCU bolo zvolené zariadenie J-Link Pro od firmy Segger. J-Link bol pripojený k doske pomocou šiestich pinov podobne ako pri doskách “tachometer” a “sensor”. Doska plošných spojov má dve vrstvy. Na vrchnej vrstve sa nachádzajú všetky súčiastky potrebné pre minimálne funkčné zapojenie QN9080. Na pravej a ľavej strane vývojovej dosky sa nachádza 17 pinový header s vyvedenými pinmi od mikrokontroléru. Pri vrchnej hrane dosky sa nachádza dvoj pinový konektor pre napájanie. Na voľných plochách vrchnej a spodnej vrstvy je vyliata uzemňovacia meď. Rozmery dosky sú $41 \times 47\text{mm}$. Tento modul bolo možné po výrobe a osadení súčiastok oživiť.



Obrázek 6.7: Vývojová doska pre QN9080

6.2.2 Druhá iterácia dosiek plošných spojov

Nasledujúca podkapitola popisuje zmeny ktorými prešiel návrh prototypovej verzie dosiek plošných spojov po jeho testovaní a odhalení chýb.

Sensor

Po zisteniach z predchádzajúcej verzie modulu senzoru bolo nutné zmeniť zapojenie napätového regulátora pre napájanie celého obvodu konštantným napätím o hodnote 3.3V. Zo vzťahu 6.1 vyplýva, že pre napätie 3.3V na výstupe regulačného obvodu TPS63030 použitého v prototypu by rezistory v odporovom deliči museli mať hodnoty $R1=1.12M\Omega$ a $R2=200k\Omega$. Rezistor s odporom presne $1.12M\Omega$ sa však nevyrába, alebo nieje bežne dostupný. Preto bolo nutné použiť napätový regulátor s typovým označením TPS73233DBVT. Tento regulátor napätia nie je nastaviteľný podobne ako TPS63030, použitý v predchádzajúcej verzii zapojení. Zariadenie dokáže pracovať so vstupným napätím od 1.7V do 5.5V[18]. V prípade tohoto modulu dostane regulátor na vstupe napätie z nabíjacieho obvodu BQ24040, ktoré je približne na hodnote 4V a zreguluje ho na hodnotu 3.3V ktorá je optimálna pre napájanie celého obvodu modulu. Nasledujúcou zmenou bolo správne prepojenie SWD pinu RESET ku odpovedajúcemu pinu mikrokontroléru. Kvôli jednoduchšiemu uchyteniu zariadenia do krabičky boli pridané na okraje dosky plošných spojov dierky o priemere približne 1mm. Pred leptanou anténou bol odstránený konektor slúžiaci na pripojenie externej antény.

Tachometer

Pri doske modulu tachometru boli nutné úpravy podobne ako pri zapojení modulu senzoru. Napätový regulátor bol zmenený na TPS73233DBVT od firmy Texas Instruments. Hlavnou zmenou obvodového zapojenia modulu oproti predchádzajúcej verzii je odstránenie

nie konektoru pre SD kartu. Interná pamäť mikrokontroléru je dostačujúca pre uchovávanie štatistických dát a použitie SD karty nie je nutné. Tento krok razantne zmenšil výsledné rozmery modulu a takisto zvýšil dobu výdrže akumulátoru. Podobne ako pri module senzoru boli pridané upevňovacie diery na krajoch dosky pre jednoduchšiu fixáciu do krabičky. Tento modul bolo možné po odstránení nedostatkov popísaných v predchádzajúcej podsekcii oživiť. Zariadenie ale nebolo schopné odosielať ani prijímať komunikáciu cez protokol Bluetooth Low Energy. Dosku plošných spojov je možné vidieť v prílohe [A.2](#).

Vývojová doska

Zapojenie vývojového modulu bolo upravené pridaním leptanej antény na dosku plošných spojov. Tento krok výrazne zvýšil flexibilitu vývojovej dosky. Takéto zapojenie už ponúka možnosť overiť funkčnosť Bluetooth Low Energy komunikácie medzi dvoma zariadeniami takéhoto typu. Pri zapojení vývojovej dosičky bol pridaný druhý konektor napájania pre jednoduchšie pripojenie VCC a GND vodičov SWD rozhrania.

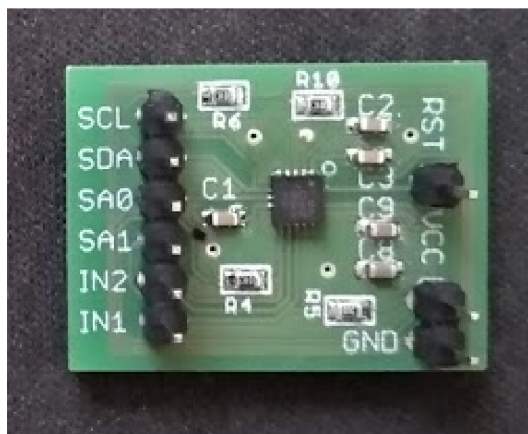
6.2.3 Tretia iterácia dosiek plošných spojov

Pri testovaní druhej iterácie dosky senzoru, bolo možné modul oživiť a implementovať na ňom firmware pre odosielanie dát použitím technológie Bluetooth Low Energy prostredníctvom leptanej antény. Dáta potrebné pre vyrátanie informácií o rýchlosti však nebolo možné z registrov akcelerometru vyčítať. Hlavným problémom bola automatická detekcia SPI alebo I^2C rozhrania ktorú akcelerometer poskytuje. Pre automatickú detekciu SPI rozhrania musí byť podľa technických informácií pin SA0 nastavený pri resete zariadenia ako plávajúci^[24]. No ani po nastavení pinu do režimu vysokej impedancie zariadenie nedetekovalo SPI komunikáciu. Z tohoto dôvodu bolo nutné navrhnúť a vyrobiť vývojovú dosičku pre vývoj čipu FXOS8700CQ. Obvodové zapojenie tohoto modulu kopíruje minimálnu schému zapojenia pre I^2C komunikáciu z technickej dokumentácie zariadenia FXOS8700CQ. Vývojová doska pre akcelerometer je zobrazená na obrázku [6.8](#). Pre I^2C ⁵ komunikáciu sú vyžadované pull-up rezistory na linkách SDA⁶ a SCL⁷. Tieto odpory sú potrebné z toho dôvodu, že SCL a SDA linky sú v kludovom režime na hodnote logickej 1. Obrázok vrchnej a spodnej strany dosky plošných spojov modulu senzoru sa nachádza v prílohe [A.1](#).

⁵ I^2C - Inter Integrated Circuit

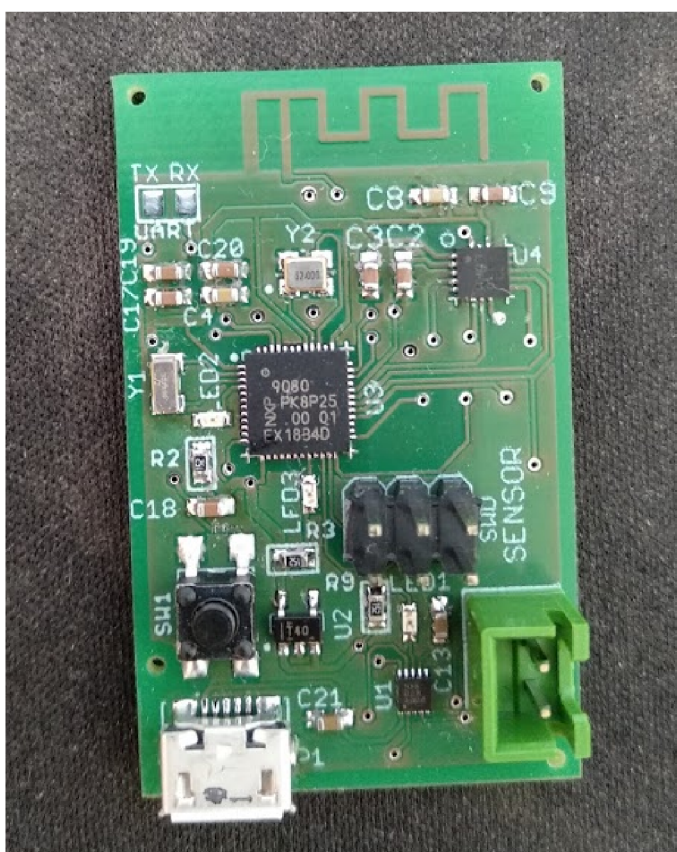
⁶SDA - Serial data

⁷SCL - Serial clock



Obrázek 6.8: Vývojová doska pre zariadenie FXOS8700CQR1

Podľa vývojovej dosičky bolo následne pozmenené aj zapojenie modulu senzoru. Finaálnu verziu modulu senzoru je možné vidieť na obrázku 6.9.



Obrázek 6.9: Konečná verzia sensorového modulu

6.3 Cena zariadenia

Aj keď výsledná cena vyrobeného zariadenia nezohrávala pri tejto práci hlavnú rolu, bolo nutné celkové náklady na výrobu cyklopočítača v čo najrozumnejšej miere minimalizovať. Z dôvodu toho, aby dokázal konkurovať podobným produktom na trhu nielen funkčnosťou, ale aj cenou. Ceny uvedené v tejto sekcii sú s DPH a za kus. Vo finálnej cene výrobku nie je započítaná cena za dopravu. Väčšina súčiastok bola objednaná od internetových predajcov Mouser, Digikey, Farnell a TME. Medzi najdrahšie súčiastky v zapojení patrí mikrokontrolér QN9080 s cenovkou 160kč, senzor FXOS8700 za 95kč a akumulátor. Akumulátor pre modul senzoru s kapacitou 250mAh stál 118kč. Celková cena za súčiastky potrebné pre osadenie zariadenia sa pohybuje okolo 500kč.

Doska plošných spojov bola vyrobená Českou firmou Gatema sídliacou v Boskovicích. Táto firma ponúka možnosť výroby dvoj vrstvovej dosky plošných spojov za cenu 550kč/dm². Výsledná doska sensorového modulu má rozmery 43mm × 26mm. Profesionálna výroba dosky plošných spojov stála 600kč. Ďalšie minimalizovanie ceny výsledného zariadenia by bolo možné napríklad použitím iného typu súčiastok a výrobou dosky plošných spojov v domácich podmienkach.

Tým že sa nepodarilo oživiť bezdrôtovú komunikáciu modulu pre zobrazovanie dát užívateľovi a pre zobrazovanie dát bola použitá implementovaná mobilná aplikácia, sa výsledná cena výrobku razantne znížila. Najdrahšími časťami modulu zobrazovacej jednotky boli mikrokontrolér a 1300mAh batéria ktorá stála až 428kč. Výroba dosky plošných spojov pre tento modul firmou Gatema stála okolo 1000kč.

Kapitola 7

Návrh a implementácia firmware

Táto kapitola sa zaoberá návrhom a implementáciou softwaru potrebného pre fungovanie zariadenia ako celku. Keďže nebolo možné plne oživiť ani druhú iteráciu dosiek zobrazovacieho modulu, ktorý mal byť umiestnený na riadítkach bicykla, bolo nutné zvoliť pre zobrazovanie dát inú stratégiu. Táto stratégia je popísaná v podsekcii 7.2. Firmware pre senzor bol implementovaný v jazyku C a mobilná aplikácia v jazyku Kotlin.

7.1 Modul senzoru

Modul senzoru je implementovaný ako GATT¹ server. GATT definuje spôsob výmeny dát medzi dvoma zariadeniami používajúcimi technológiu Bluetooth Low Energy. Táto výmena dát je vykonávaná až po pripojení dvoch zariadení. Bluetooth Low Energy však poskytuje možnosť pripojenia iba jedného periférneho zariadenia súčasne ku serveru. Po pripojení periférneho zariadenia ku serveru prestane GATT server odosielať advertise správy, to znamená že prestane byť viditeľný pre ostatné zariadenia. Server ukladá získavané dáta lokálne a poskytuje pripojenému klientovi možnosť prísť k požadovaným dátam prostredníctvom operácií Read, Write, Notify alebo Indicate. GATT prenosy sa skladajú zo služieb a charakteristík. Charakteristiky obsahujú ešte svoje vlastné descriptorové údaje. Služby rozdeľujú odosielané informácie do logických blokov. Služby môžu obsahovať viacero charakteristík a sú od seba odlišené 16 bitovým identifikátorom. Základným prvkom GATT správy je charakteristika. Charakteristika sa skladá z jednej dátovej položky a je od ostatných charakteristík odlišená taktiež pomocou 16 bitového identifikačného čísla UUID.[30]

Modul senzoru je po pripojení napájania buď pomocou batérie alebo USB konektoru inicializovaný a začne odosielať správy typu advertise. Počas celej doby behu aplikácie sa volajú dva časovače, jeden RTC sekundový časovač ktorý je zodpovedný za naplnenie hodnôt do správ ktoré budú odoslané a druhý CTIMER časovač ktorý každých 30ms spúšťa čítanie hodnôt zo senzoru a vyrátavanie rýchlosti. Po pripojení periférneho zariadenia typu GATT client (mobilná aplikácia) je nadviazaná komunikácia a server začne každú sekundu odosielať správy typu Notify klientskej periférii. [30]

Pre implementáciu bol použitý ukázkový kód implementujúci GATT privátny profil serveru. Tento kód bol vygenerovaný z MCUXpresso SDK pre mikrokontrolér QN9080 a následne upravený pre vykonávanie požadovaných operácií ako bezdrôtový modul pre získavanie dát o jazde na bicykli.

¹GATT - Generic Attribute Profile

7.1.1 Získavanie dát z akcelerometru

Dáta z akcelerometru sú získavané pomocou I^2C zbernice. Podľa informácií v technickej dokumentácii zariadenia je nutné nastaviť SCL a SDA piny mikrokontroléru do režimu vysokej impedancie. Piny SA0, SA1 a RST nastaviť do výstupného režimu a piny INT1 a INT2 do vstupného režimu. Konfiguráciu pinov popisuje tabuľka 7.1. Piny SA0 a SA1 určujú adresu zariadenia na I^2C zbernici. Na jednej zbernici je možné použiť až štyri senzorové zariadenia FXOS8700. Adresy jednotlivých zariadení pri použití rôznych kombinácií logických hodnôt pinov SA0 a SA1 určuje tabuľka 7.2. [24]

Tabuľka 7.1: Nastavenie pinov akcelerometru

Pin	Vstup/Výstup	Stav	Interný pull-control
SDA	nešpecifikované	nešpecifikované	vysoká impedancia
SCL	nešpecifikované	nešpecifikované	vysoká impedancia
SA0	výstup	logická 0	žiadny
SA1	výstup	logická 0	žiadny
RST	výstup	logická 0	žiadny
INT1	vstup	nešpecifikované	žiadny
INT2	vstup	nešpecifikované	žiadny

Tabuľka 7.2: Adresa zariadenia senzoru

SA1	SA0	Adresa zariadenia
0	0	0x1E
0	1	0x1D
1	0	0x1C
1	1	0x1F

Táto konfigurácia bola vykonaná v programe MCUXpresso Config Tools v ktorom je možné nastaviť potrebné funkcie pinov a hodiny. Po nastavení konfigurácie pinov bolo nutné resetovať senzor zapísaním logickej hodnoty 1 a následne logickej hodnoty 0 na reset pin zariadenia. Pre správnu funkciu resetu je nevyhnutné nastaviť zdržanie medzi prepínaním logickej hodnoty na výstupe pinu. Po resete zariadenia sa senzor nachádza v pohotovostnom režime a je nutné ho aktivovať. Prechod do aktívneho módu je nastavený zapísaním hodnoty 0x01 do registru zariadenia na adrese 0x2A. Nastavenie nízkeho šumu, rozsahu merania a rýchlosti prenosu dát sa vykonáva vo funkcií `fxos_init()`. Po inicializácii zariadenia sa pristupuje k samotnému získavaniu dát o naklonení akcelerometra. Mikrokontrolér číta zo senzoru 7 registrov. Prvý register na adrese 0x00 signalizuje, či sú nové dáta v senzore pripravené na prenos. Za ním nasleduje 6 registrov s hodnotami X, Y a Z. Po každom čítaní z registru je register automaticky inkrementovaný.

7.1.2 Spracovanie dát a vyrátanie rýchlosti

Zariadenie vracia pre každú hodnotu X , Y , Z 14 bitové akcelerometrické dáta, ktoré je nutné uložiť ako 16 bitové hodnoty. Tieto hodnoty sú z intervalu $[-8192, 8192]$. Je nutné ich normalizovať na interval $[-1, 1]$ pre výpočet potrebných uhlov naklonenia. Spôsob normalizácie hodnôt je popísaný kódom 7.1.

```

1   status0_value = readBuff[0];
2   x1 = ((int16_t)(((readBuff[1] * 256U) | readBuff[2]))) / 4U;
3   y1 = ((int16_t)(((readBuff[3] * 256U) | readBuff[4]))) / 4U;
4   z1 = ((int16_t)(((readBuff[5] * 256U) | readBuff[6]))) / 4U;
5
6   // Normalize values
7   struct Vec3f curr;
8   curr.x = x1 * (1./(90*23));
9   curr.y = y1 * (1./(90*23));
10  curr.z = z1 * (1./(90*23));

```

Výpis 7.1:]Normalizácia získaných dát do intervalu [-1,1]

Program si pamätá súčasné a predchádzajúce hodnoty X , Y , Z vektorov z ktorých je vyrátaný skalárny súčin. Výsledkom skalárneho súčinu je číslo, nie vektor. Vzťah pre výpočet skalárneho súčinu dvoch vektorov je zobrazený vo vzorci 7.1.

$$\begin{aligned}
 \vec{x} &= (x_1, x_2, x_3) \\
 \vec{y} &= (y_1, y_2, y_3) \\
 \vec{x} \cdot \vec{y} &= x_1y_1 + x_2y_2 + x_3y_3
 \end{aligned}
 \tag{7.1}$$

Pomocou skalárneho súčinu a veľkosti dvoch troj-dimenzionálnych vektorov je možné zistiť odchýlku daných vektorov. Výpočet odchýlky dvoch vektorov je zobrazený vzťahom 7.2. V tomto prípade vektor x predstavuje predchádzajúce namerané hodnoty a vektor y označuje súčasné namerané hodnoty. Rozdiel medzi dvoma meraniami je 30ms.

$$\cos \varphi = \frac{x \cdot y}{|\vec{x}| |\vec{y}|}
 \tag{7.2}$$

Následne je rýchlosť vyrátaná vzťahom 7.3. Kde φ je uhol vyrátaný vzťahom 7.2, Δt je časový rozdiel medzi dvoma meraniami a O je obvod rotujúceho kolesa. Rýchlosť je získavaná periodicky každých 30 milisekúnd a ukladaná do premennej z ktorej je pred vložení hodnoty do odosielanej správy vyrátaný priemer. Počítanie priemeru z viacerých výpočtov rýchlosti slúži pre filtrovanie nechcených hodnôt a nepresností akcelerometra.

$$V = \frac{\varphi}{\Delta t} * O * 3600
 \tag{7.3}$$

7.1.3 Odosielanie údajov

V programe je implementovaný RTC² časovač, ktorý vyvolá prerušenie každú sekundu. Každú sekundu sa do fronty správ pre odoslanie pridá nová správa, ktorá má typ *MSG_SPEED* a nesie informácie o priemernej rýchlosti za sekundu. Program periodicky kontroluje, či sa vo fronte správ nenachádza žiadna správa čakajúca na odoslanie. Ak fronta správ nie je prázdna, zariadenie odošle klientovi správu typu *Notify* obsahujúcu typ informácie ktorú nesie (*MSG_SPEED*) a hodnotu priemernej rýchlosti jazdy za sekundu.

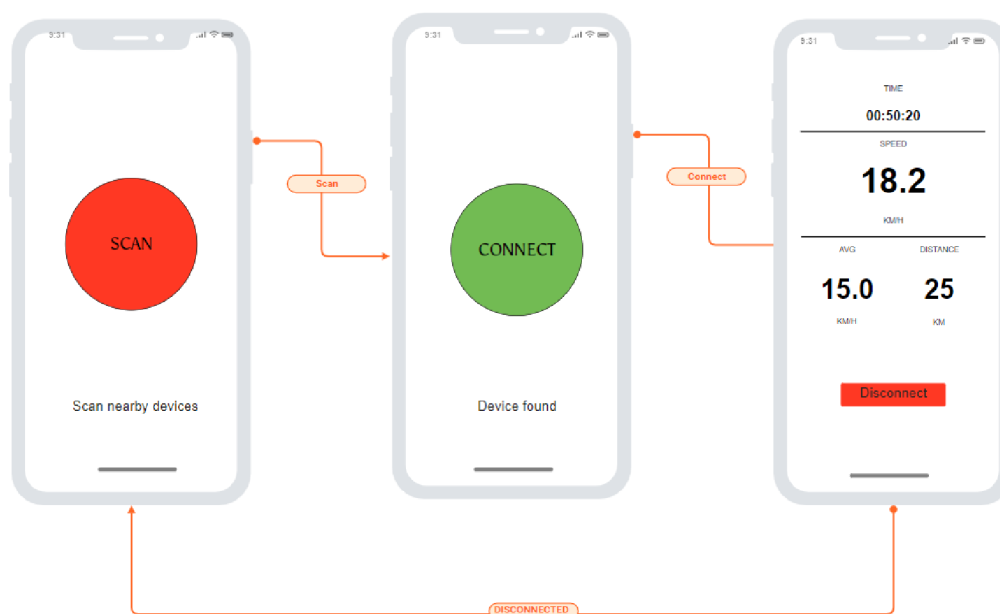
²RTC - Real-time clock

7.2 Mobilná aplikácia

Žijeme v dobe v ktorej so sebou skoro každý človek nosí mobilný telefón a vie ho bezproblémov používať. Z toho dôvodu bola ako náhrada modulu zobrazovacej jednotky implementovaná mobilná aplikácia pre operačný systém Android. Aplikácia bola implementovaná v jazyku Kotlin vo vývojovom prostredí Android Studio.

7.2.1 Návrh užívateľského rozhrania

Pri návrhu užívateľského rozhrania bol kladený dôraz hlavne na jednoduchosť a intuitívnosť aplikácie. Z toho dôvodu, aby aplikáciu vedeli používať užívatelia rôznych vekových kategórií u ktorých je prioritou získavanie dát z jazdy na bicykli. Aplikácia má iba jeden scenár použitia, užívateľ nemá kde urobiť chybu alebo sa dostať na miesto z ktorého nebude vedieť pokračovať ďalej. Návrh užívateľského rozhrania je zobrazený na obrázku 7.1 a scenár použitia je popísaný v nasledujúcej sekcii 7.2.2.



Obrázek 7.1: Návrh aplikácie

7.2.2 Použitie aplikácie

Z obrázku 7.1 je zrejmé, že použitie aplikácie je veľmi jednoduché, priamočiare a intuitívne. Po inštalácii a spustení aplikácie sa užívateľovi otvorí okno obsahujúce okrúhle tlačidlo červenej farby s nápisom SCAN, po ktorého stlačení začne mobilný telefón skenovať okolité zariadenia používajúce technológiu Bluetooth Low Energy.

Ak sa nachádza v blízkosti telefónu zapnutý modul senzoru a je možné sa ku nemu pripojiť (modul nieje pripojený k inému zariadeniu), na obrazovke sa farba hlavného tlačidla zmení na zelenú a po opätovnom stlačení tohoto tlačidla je možné pripojiť mobilný telefón k

senzoru. K tomuto kroku používateľovi aplikácie napovedá nápis v tlačidle, ktorý obsahuje reťazec CONNECT.

V spodnej časti obrazovky je textové pole v ktorom sa nachádzajú hlášky o priebehu aplikácie, ktoré užívateľovi popisujú udalosti o nájdení senzoru v okolí, pripojení ku senzoru alebo expirácií času po ktorý telefón tento modul vyhľadáva.

Čas po ktorý telefón vyhľadáva zariadenie je limitovaný na 10 sekúnd z dôvodu toho, že táto operácia je náročná na batériu mobilného telefónu. Po úspešnom pripojení telefónu k zariadeniu senzoru je užívateľovi zobrazená prehľadná tabuľka s hlavnými informáciami o jazde na bicykli ako sú aktuálna rýchlosť, priemerná rýchlosť, prejdená vzdialenosť a čas jazdy. Tieto informácie sú uchovávané iba po dobu pripojenia ku senzoru. Po odpojení mobilného telefónu sú informácie o čase, vzdialenosti a priemernej rýchlosti nastavené znovu na nulové hodnoty.

Odpojenie mobilného telefónu od senzoru je možné pomocou kliknutia na tlačidlo s nápisom DISCONNECT umiestneného na spodnej časti obrazovky. Po odpojení sa užívateľ dostane znovu na začiatkovú obrazovku kde môže vyhľadávať zariadenie v okolí.

7.2.3 Implementácia

Pri implementácii bolo čerpané z oficiálnej príručky o vývoji Bluetooth Low Energy aplikácií pre operačný systém Android a vzorového kódu BLE³ aplikácie poskytovaného Android Studiom. Mobilná aplikácia implementuje GATT privátny profil klienta.

Spracovanie dát

Pre výpis výsledných informácií na displej mobilného telefónu je nutné prijaté dáta od modulu senzoru najskôr spracovať. Senzor odosiela každú sekundu pomocou technológie Bluetooth Low Energy 20 bytové správy v ktorých sa nachádzajú dáta o rýchlosti jazdy typu float s veľkosťou 4 byty.

Potrebné dáta sú z prijatej správy vyberané a spracované v metóde *broadcastUpdate()*. Po celú dobu prijímania správ od senzoru beží časovač, ktorý je nutný pre nasledujúce výpočty. Z informácií o rýchlosti a čase jazdy je možné vypočítať údaje o prejdenej vzdialenosti a priemernej rýchlosti. Tieto hodnoty sú prerátavané po každom doručení a spracovaní správy od modulu senzoru, čo je približne každú sekundu.

Vzťah pre výpočet prejdenej vzdialenosti popisuje vzorec 7.4, v ktorom sa celková prejdená vzdialenosť rovná súčtu doterajšej vzdialenosti a vzdialenosti prejdenej za poslednú sekundu. Vzdialenosť prejdená za sekundu je vo vzorci 7.4 uvedená ako pomer aktuálnej rýchlosti (v jednotkách km/h) a počtu sekúnd za hodinu (3600).

$$\text{celková vzdialenosť} = \text{vzdialenosť} + \left(\frac{\text{aktuálna rýchlosť}}{3600} \right) \quad (7.4)$$

Vzťahom 7.5 je vypočítaná hodnota aktuálnej rýchlosti. Túto hodnotu je možné vyrátať pomerom celkovej prejdenej vzdialenosti v kilometroch a celkového času jazdy v hodinách. Všetky výpočty potrebné pre získanie týchto hodnôt sú vykonávané v metóde *displayData()*.

$$\text{priemerná rýchlosť} = \frac{\text{vzdialenosť}}{\text{čas}} \quad (7.5)$$

³BLE - Bluetooth Low Energy

Kapitola 8

Testovanie

Táto kapitola sa zaoberá testovaním finálneho výrobku. Zariadenie bolo pri testovaní uložené do malej krabičky a uchytené pomocou sťahovacích pásov do náboja bicykla. Tachometer je prednastavený na kolesá cestného bicykla so štandardizovaným rozmerom ráfiku 28 palcov s plášťom šírky 28mm.

8.1 Testovanie výrobku

Táto podkapitola vychádza z poznatkov zistených pri skutočnom testovaní pri jazde na bicykli. Zariadenie je najpresnejšie pri pomalých rýchlostiach do 5 kilometrov za hodinu. Pri vyšších rýchlostiach je chyba kumulovaná a výsledná rýchlosť nepresná. V momente keď koleso nie je v pohybe, zobrazuje rýchlosť približne 0km/h. Nepresnosti sú spôsobené odchýlkou merania akcelerometrických dát a možným pohybom zariadenia v krabičke pri testovaní. Akcelerometrické dáta podliehajú veľkému šumu aj pri nastavení nízkeho šumu na zariadení. Nepresnosť merania a prepočítania dát o naklonení v osiach x, y a z vedie k výrazným nepresnostiam vo výsledku. Tachometer nie je pri vyšších rýchlostiach zrovnatelný presnosťou s podobnými zariadeniami na súčasnom trhu. Nepresnosť merania je príliš veľká. Tabuľka 8.1 znázorňuje uhol ktorý zariadenie zmení za časový interval 30ms pri určitých rýchlostiach.

Tabuľka 8.1: Zmena uhlu zariadenia pri rôznych rýchlostiach za časový interval 30ms

Rýchlosť (km/h)	Zmena uhlu naklonenia akcelerometra(°)
1	1.381964585
5	6.909822926
10	13.81964585
15	20.72946878
20	27.6392917
30	41.45893755
50	69.09822926
70	96.73752096
90	124.3768127
100	138.1964585

8.2 Testovanie intenzity signálu

Jednou z hlavných cieľov tejto práce bol stabilný bezdrôtový prenos medzi senzorom a zobrazovacou jednotkou. Prenos prebieha cez Bluetooth Low Energy protokol. Tabuľka 8.2 popisuje intenzitu signálu v jednotkách dBm. Meranie intenzity signálu prebiehalo vo všetkých smeroch od zariadenia na uvedené vzdialenosti. Hodnoty v tabuľke sú priemerom piatich rôznych meraní vo vnútornom a vonkajšom priestore. Výsledky z tabuľky potvrdzujú fakt že senzorové zariadenie je možné namontovať na predný aj zadný náboj kolesa a výsledný signál neovplyvní funkčnosť zariadenia. Pri uchytení senzoru na predný náboj je senzor od telefónu vzdialený vzdušnou čiarou približne 0.6m a pri uchytení na stenu zadného náboja približne 1m.

Tabuľka 8.2: Intenzita signálu

Vzdialenosť (m)	Intenzita signálu (dBm)
0.1	-56.25
0.2	-60.75
0.5	-67.50
0.7	-72,50
1.0	-77.00
2.0	-80,50
5.0	-85,75

Kapitola 9

Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo navrhnuť, vybrať komponenty a vykonať praktickú realizáciu bezdrôtového tachometra pre bicykel. Následne implementovať firmware pre zaistenie bezproblémovej funkčnosti zariadenia ako celku. Účelom realizovaného zariadenia je zaznamenávať informácie o jazde na bicykli ako aktuálna/priemerná rýchlosť a vzdialenosť. Tieto informácie následne vhodne a prehľadne prezentovať užívateľovi.

Prácu je možné rozdeliť na dve časti. Teoretický blok sa skladá z popisu princípu funkcie cyklopočítača, histórie cyklopočítačov od prvého komerčne vyrobeného tachometru až po súčasnosť a prehľadu súčasných cyklopočítačov na trhu. V práci je ďalej popísaný prehľad senzorov ktoré je možné použiť pre snímanie rýchlosti jazdy na bicykli.

Praktická časť začína popisom prvotného výberu súčiastok pred návrhom a výrobou prvej iterácie dosiek plošných spojov. Vysvetľuje význam komponent v obvodom zapojení a spôsob ich funkcie. Následne popisuje ich zakomponovanie do návrhu obvodového zapojenia. Kapitola o návrhu a praktickej realizácii hardware sa následne zaoberá problémami, ktoré nastali pri pokuse o oživenie osadených dosiek.

Zariadenie prešlo v priebehu práce množstvom zmien. Prvá iterácia zariadenia sa skladala z dvoch osadených dosiek, jedna doska mala plniť funkciu senzoru využívajúcu akcelerometer a magnetometer ako senzorovú jednotku pripojenú k mikroprocesoru cez SPI rozhranie. Druhá doska mala plniť úlohu prijatia a spracovania dát. Ich následné uloženie na SD kartu a výpis na E-Ink displej komunikujúci s mikrokontrolérom cez SPI linky. V tejto iterácii dosiek nastal problém s SWD rozhraním, kedy nebol správne vyvedený resetovací pin z konektoru pre pripojenie J-Link sondy k MCU. Nasledujúcim problémom bol zle zvolený napäťový regulátor, pri ktorom sa do obvodu dostávalo napätie ktoré komponenty ako akcelerometer a mikrokontrolér nezvládali, aj keď informácie v technických dokumentáciách týchto zariadení hovorili o opaku. Tieto problémy zamedzili oživeniu obidvoch dosičiek a bolo nutné navrhnuť a osadiť novú verziu.

V návrhu druhej iterácii dosiek plošných spojov sa tieto problémy opravili. Dosky však stále nebolo možné oživiť. Po skúmaní sa zistilo že pri osadzovaní externého krystalu nastala chyba. Táto chyba bola spôsobená nepresnou informáciou v technickej dokumentácii použitého kryštálu. Po odstránení tohoto problému bolo možné obidva moduly oživiť. Z dosky zobrazovacieho modulu bol odobraný konektor pre SD kartu, čo zmenšilo výsledné rozmery zariadenia. Na doske plniacej modul senzoru sa podarilo implementovať GATT server a overiť, že je zariadenie schopné komunikovať pomocou Bluetooth Low Energy. Doska zobrazovacieho modulu nebola schopná bezdrôtovo komunikovať. Pri pokuse o implementáciu získavania dát z akcelerometru bolo narazené na ďalší problém. Zariadenie akcelerometru

nebolo schopné automaticky detekovať SPI komunikáciu a tak odmietalo všetky pokusy o komunikáciu zo strany mikrokontroléru.

Vo finálnej iterácii bola na sensorovej doske zmenená komunikácia medzi zariadeniami FXOS8700 a QN9080 z SPI na I^2C . Na tomto module bolo možné so sensorovou jednotkou komunikovať a vyčítať dáta z registrov. Tieto dáta boli nutné pre vypočítanie aktuálnej rýchlosti jazdy na bicykli. Z dôvodu, že sa nepodarilo prísť na problém nefunkčnosti antény pri module tachometru, bol zvolený nový spôsob zobrazovania dát užívateľovi. Modul senzoru odosiela dáta do mobilnej aplikácie implementovanej v jazyku Kotlin. Zariadenie už bolo možné v takejto podobe upevniť na bicykel a testovať funkčnosť vo vonkajších podmienkach.

Vzhľadom k tomu že výsledné zariadenie prešlo v priebehu práce viacerými zmenami, ostáva stále priestor na možné vylepšenia. Hlavným vylepšením výslednej formy zariadenia by bol návrh a praktická realizácia ďalších modulov ktoré by rozširovali funkcionality zariadenia. Modul pre meranie tepu, sily, počasia, nadmorskej výšky, a podobne. Ďalším rozšírením by mohlo byť pridanie GPS modulu na dosku vyrobeného senzoru. Tento krok by pravdepodobne dost ovplyvnil celkovú výdrž batérie, ale výsledkom by bolo presnejšie meranie rýchlosti a vzdialenosti pri spriemerovaní GPS s akcelerometrickými dátami. Na rozšírenie funkcionality vyvinutého modulu by bolo možné implementovať automatickú detekciu pádu z bicykla. Pre zlepšenie vizuálnej stránky modulu senzoru by bolo možné minimalizovať rozmery výslednej dosičky presunutím väčšieho množstva komponent na spodnú stranu dosky.

Literatura

- [1] ADOLPHUS, D. T. *The Veeder Hub-Odometer* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.hemmings.com/stories/article/the-veeder-hub-odometer>.
- [2] BATTERIES, C. *Specification Approval Sheet* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/6e40ea251c9a5e9afeb789fbbf73f3f5/ce10005.pdf>.
- [3] CATEYE AMERICA, I. *CATEYE PADRONE CYCLOCOMPUTER CC-PA100W* [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: https://www.cateye.com/files/manual_dl/2/957/CC-PA100W_HP_ENG_v2-1.pdf.
- [4] CLEMISTON, S. *A history of cycling in 100 objects*. 1. vyd. Bloomsbury, 2017. ISBN 9781472918901.
- [5] DHAKER, P. *Introduction to SPI Interface* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/analog-dialogue/volume-52/number-3/introduction-to-spi-interface.pdf>.
- [6] EINK. *E-Ink Benefits* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.eink.com/benefits.html>.
- [7] ELECTRONIC, M. *Reed Switch Operational Characteristics* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: https://www.sos.sk/a_info/resource/h/meder/The_Basic_Reed_Switch.pdf.
- [8] ELECTRONICS, W. *1.54inch e-Paper Datasheet* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: https://www.waveshare.com/w/upload/7/77/1.54inch_e-Paper_Datasheet.pdf.
- [9] ELPROCUS. *ZigBee Wireless Technology Architecture and Applications* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/what-is-zigbee-technology-architecture-and-its-applications/>.
- [10] FEYELEKTRONIK. *PA-IEC-L36.R001* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.feyelektronik.de/downloads/db-pa-iec-l36.pdf>.
- [11] FIRST4MAGNETS. *WHAT IS A REED SWITCH, AND WHICH MAGNETS OPERATE THEM?* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.first4magnets.com/blog/what-is-a-reed-switch-and-which-magnets-operate-them/>.
- [12] GARMIN. *EDGE®1030 Owner's Manual* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: https://www8.garmin.com/manuals/webhelp/edge1030/EN-US/Edge_1030_OM_EN-US.pdf.

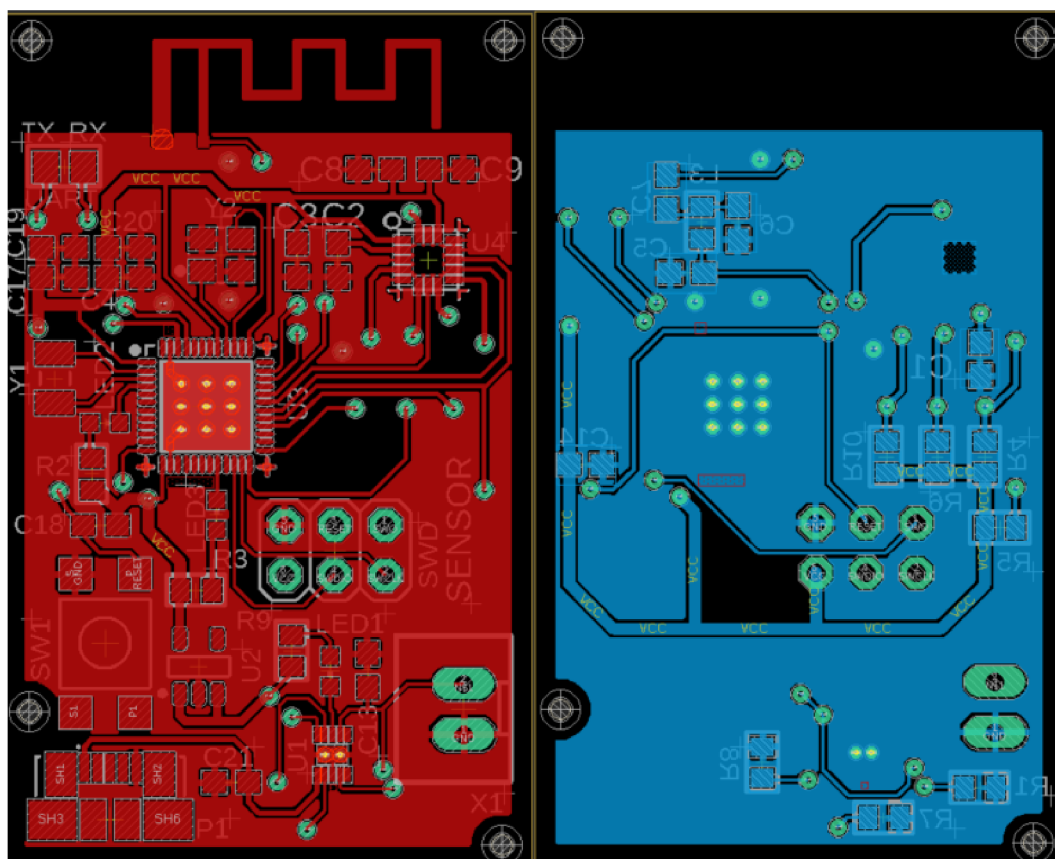
- [13] GARMIN. *EDGE®530 Owner's Manual* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://www8.garmin.com/manuals/webhelp/edge530/EN-US/Edge_530_OM_EN-US.pdf.
- [14] GARMIN. *Garmin Edge® 530* [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/621224>.
- [15] HONEYWELL. *HALL EFFECT SENSING AND APPLICATION* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://sensing.honeywell.com/hallbook.pdf>.
- [16] INSTRUMENTS, T. *BQ2404x 1A, Single-Input, Single Cell Li-Ion and Li-Pol Battery Charger With Auto Start* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24040.pdf>.
- [17] INSTRUMENTS, T. *TPS6303x High Efficiency Single Inductor Buck-Boost Converter With 1-A Switches* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps63031.pdf>.
- [18] INSTRUMENTS, T. *TPS732xx Capacitor-Free, NMOS, 250-mA Low-Dropout Regulator With Reverse Current Protection* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps732.pdf?HQS=TI-null-null-mouser-mode-df-pf-null-ww&ts=1593526389140&ref_url=https%253A%252F%252Fcz.mouser.com%252F.
- [19] JFISCHER. *Avocet Model 20 Cyclometer* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://www.velobase.com/ViewComponent.aspx?ID=1f072959-c166-4911-bb46-352d5ce558ff&Enum=103>.
- [20] KING, B. *Hall-effect Sensor Overview* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://training.ti.com/sites/default/files/hall-position-sensor-applications-overview.pdf>.
- [21] KOLLMAN, R. a BETTEN, J. *Powering electronics from the USB port* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/an/slyt118/slyt118.pdf?ts=1594539099982&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.
- [22] LAWRENCE, A. *Modern Inertial Technology: Navigation, Guidance, and Control, Edition 2*. 2. vyd. Springer Science & Business Media, 2012. ISBN 9781461217343.
- [23] SMITH, J. O. *Newton's Three Laws of Motion* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: https://ccrma.stanford.edu/~jos/pasp/Newton_s_Three_Laws_Motion.html.
- [24] NXP. *FXOS8700CQ* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/FXOS8700CQ.pdf>.
- [25] NXP. *QN908x* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/nxp/data-sheets/QN908x.pdf>.
- [26] PIEZOTRONICS, P. *INTRODUCTION TO MEMS ACCELEROMETERS* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.pcb.com/resources/technical-information/mems-accelerometers>.
- [27] SEGGER. *J-Link interface description* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.segger.com/products/debug-probes/j-link/technology/interface-description/>.

- [28] SPORT, S. *SIGMA BC14.16* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.sigmasport.com/en/images/pdf/081417-2_ManualBC1416_Montagebogen_SP4.pdf.
- [29] TEGART, D. *Huret Multito* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/timandmegan/3223761637>.
- [30] TOWNSEND, K. *GATT* [online]. [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/gatt>.
- [31] TOWNSEND, K., CUFÍ, C., AKIBA a DAVIDSON, R. *Getting Started with Bluetooth Low Energy* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.oreilly.com/library/view/getting-started-with/9781491900550/ch01.html>.
- [32] TRAINING, S. *SRM POWERCONTROL 8* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <http://www.srm.de/product/powercontrol/>.
- [33] WAHOOFITNESS. *ELEMNT BOLT GPS BIKE COMPUTER* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://eu.wahoofitness.com/devices/bike-computers/gps-elemnt-bolt>.
- [34] ZAKRIYA MOHAMMED, I. A. M. E. a RASRAS, M. *Monolithic Multi Degree of Freedom (MDoF) Capacitive MEMS Accelerometers* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6266379/>.

Příloha A

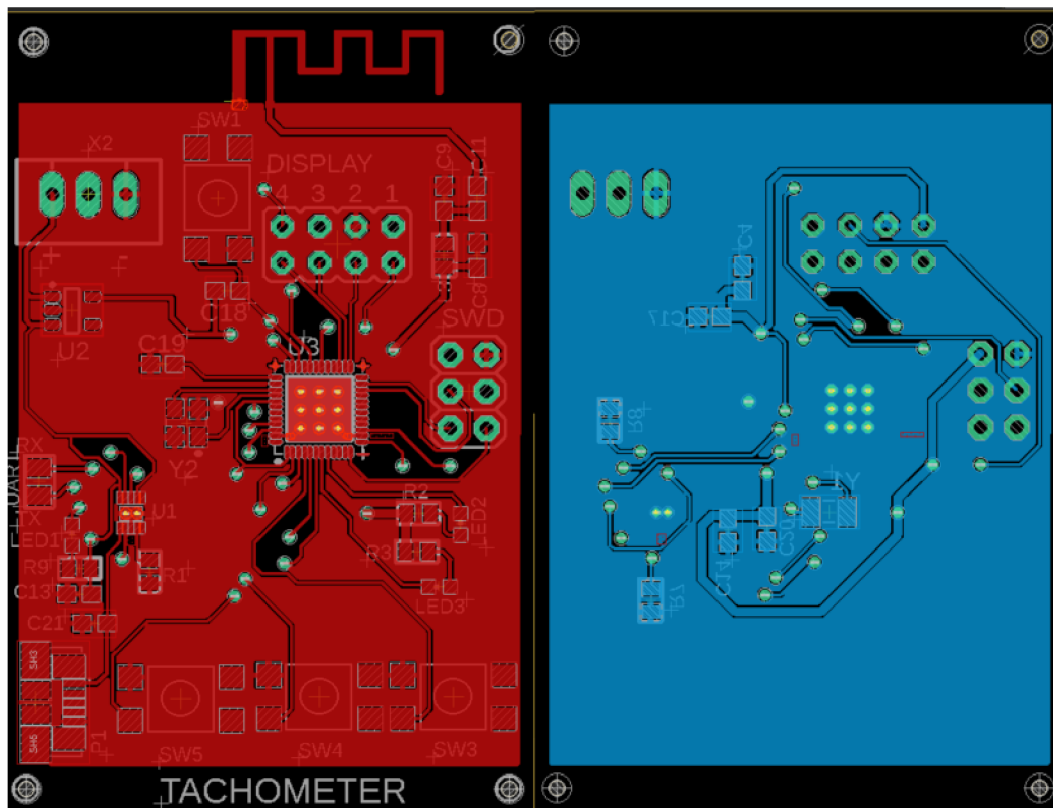
Dosky plošných spojů

A.1 Doska plošných spojů modulu senzor



Obrázek A.1: Vrchná a spodná vrstva dosky plošných spojů modulu senzor

A.2 Doska plošných spojov modulu tachometer



Obrázek A.2: Vrchná a spodná vrstva dosky plošných spojov modulu tachometer

A.3 Zoznam súčiastok

predajca	objednací číslo	typové označenie součástky	popis	sensor	tachometer
Digikey	1276-1907-1-ND	CL10A475MQ8NNMC	C4, 7UF	C4, C8	C4
Digikey	1276-2218-1-ND	CL10C1R8C88NNMC	C1, 8PF	C5, C6	C8, C9
Digikey	1276-1866-1-ND	CL10A185MP8NNMC	C1UF	C13, C21	C13, C21
Digikey	311-1742-1-ND	CC0603DRNP09BUBR2	C8, 2PF	C7	C11
Digikey	PT5647SM85MTR2LFSC7-ND	PTS 647 SM88 SMTR2 LFS	BUTTON	SW1	SW1, SW3, SW4, SW5
Digikey	609-3203-ND	67996-108MLF	2*4PIN HEADER	---	DISPLAY
Digikey	609-3210-ND	67996-280HLE	2*3PIN HEADER	SWD	SWD
Digikey	535-11539-1-ND	A1MC-0603-3N35-T	L3, 3NH	L3	L3
Digikey	160-1434-6-ND	LT5T-C190KFKT	LED	LED1, LED2, LED3	LED1, LED2, LED3
Digikey	2019-RK73B1JTTD202JCT-ND	RK73B1JTTD202J	R2KOHM	R1	R1
Digikey	296-37142-1-ND	BQ24040DSQR	BQ24040	U1	U1
Digikey	455-2879-ND	B2B-XH-4-AM(LF)(SN)	BATTERY CONNECTOR 2	X1	---
Digikey	WM1741CT-ND	0473460001	USB	P1	P1
Digikey	455-2231-ND	B3B-XH-AM(LF)(SN)	BATTERY CONNECTOR 3	---	X2
Digikey	RMCF0603T1K10CT-ND	RMCF0603T1K10	R1, 1KOHM	R7	R7
Digikey	RMCF0603T1K50TR-ND	RMCF0603T1K50	R1, 5KOHM	R2, R3, R9	R2, R3, R9
Digikey	296-15812-2-ND	TP5732330BVT	TP5732330BVT	U2	U2
Mouser	771-QN0600DHE	QN0600DHE	QN0600DHE	U3	U3
Mouser	841-FXOS8700CQR1	FXOS8700CQR1	FXOS8700CQ	U4	---
Farnell	1469748	CRCM060310K0FKEA	R10K	R4, R5, R6, R10, R8	R8
Farnell	3228355	ABS07-32-768KHZ-9-4-T	Y32-768KHZ	Y1	Y1
Farnell	2853902	MCS3K-7E-32.00-B-10-60-B-10	Y32MHZ	Y2	Y2
Farnell	1657913	020160104KAT2A	C0, 1UF	C20, C19, C18, C17, C14, C9, C3, C2, C1, -	C20, C19, C18, C17, C14

Obrázek A.3: Zoznam súčiastok pre moduly tachometer a sensor

Příloha B

Popis štruktúry adresárov

Súbor manual.txt popisuje ako je možné pracovať s vloženými súbormi a projektami. V adresári documentation sa nachádza tento súbor s názvom xrocka00.pdf. V pod-adresári latex sa nachádza táto dokumentácia vo formáte .tex. V adresári DPS sa nachádzajú tri pod-adresáre a súbor partlist.txt obsahujúci zoznam súčiastok pre dosky tachometer a sensor. Každý podadresár obsahuje súbory vo formáte .sch a .brd obsahujúce schémy zapojení a návrhy dosiek plošných spojov. Adresár 1_iteration obsahuje súbory s návrhom prototypov. Adresár 2_iteration obsahuje súbory s návrhom druhej iterácie dosky plošných spojov a adresár 3_iteration obsahuje návrhové súbory pre finálnu verziu dosky modulu senzoru a vývojovej dosky pre akcelerometer. Adresár mobile_application obsahuje projekt z vývojového prostredia Android Studio implementujúci mobilnú aplikáciu pre zariadenie tachometru. Adresár sensor_module obsahuje projekt z vývojového prostredia MCUXpresso implementujúci firmware pre dosku senzorového modulu.