

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

3D akcelerometr/gyroskop pro detekci pohybu osob

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan ZÁRUBA**
Osobní číslo: **E12N0044P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **3D akcelerometr/gyroskop pro detekci pohybu osob**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

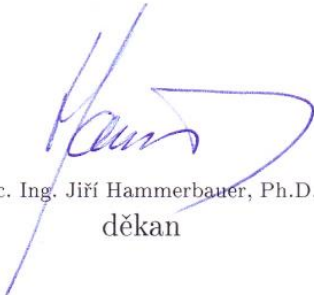
1. Prostudujte dostupné metody pro detekci pohybu osob.
2. Stanovte požadavky na detekci pohybu osob.
3. Navrhněte elektronické obvody pro modul 3D akcelerometru/gyroskopu.
4. Realizujte modul 3D akcelerometru/gyroskopu včetně SW vyhodnocení pohybu.
5. Proveďte ověřovací měření a diskutujte dosažené výsledky.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


1. **Fraden, J.: Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications, Springer, 2010, ISBN 978-1-4419-6465-6.**
2. **Lay-Ekuakille, A., Mukhopadhyay, S.: Wearable and Autonomous Biomedical Devices and Systems for Smart Environment, Springer, 2010.**
3. **Zekavat, R., Buehrer, M.: Handbook of Position Location: Theory, Practice and Advances, IEEE Press 2012.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Řeboun, Ph.D.**
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá detekcí pohybu osob pomocí 3D akcelerometru a 3D gyroskopu. Teoretická část shrnuje dostupné metody pro detekci pohybu osob. Dále jsou popsány možnosti použití detektorů pohybu osob v oblasti medicíny, sportu, herních ovladačů a navigací. Praktická část obsahuje návrh a realizaci nositelného bezdrátového modulu s akcelerometrem a gyroskopem. Součástí praktické části je software pro detektor pohybu osob, který vyhodnocuje aktivitu, orientaci a pády. Součástí práce je CD obsahující program pro vyhodnocení a mikrokontrolér.

Klíčová slova

Akcelerometr, gyroskop, nositelný, bezdrátový, Bluetooth, detekce pohybu, detekce aktivity, detekce pádu, algoritmy

Abstract

This thesis deals with the personal movement detection by 3D accelerometer and 3D gyroscope. Theoretical part summarizes available methods for the personal movement detection. There are described possibilities how to use the motion detection in medical science, sport, game controllers and navigations. Practical part contains the draft and the realization of wearable wireless module with the accelerator and the gyroscope. It includes also the software for the personal movement detection that assesses activation, orientation and fallings. In the thesis, there is attached the CD containing the program evaluation and the microcontroller.

Key words

Accelerometer, gyroscope, wearable, wireless, Bluetooth, movement detection, activity detection, fall detection, algorithm

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 12.5.2014

Bc. Jan Záruba

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Řebounovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
1 METODY DETEKCE POHYBU OSOB	9
1.1 AKCELEROMETRY	9
1.1.1 Princip akcelerometrů	9
1.1.2 Parametry akcelerometrů	11
1.1.3 Shrnutí	11
1.2 GYROSKOPY	11
1.2.1 Princip gyroskopů	12
1.2.2 Parametry gyroskopů	13
1.2.3 Shrnutí	13
1.3 MAGNETOMETRY	14
1.3.1 Princip magnetometrů	15
1.3.2 Parametry magnetometrů	15
1.3.3 Shrnutí	15
1.4 GPS	16
1.4.1 Princip GPS	16
1.4.2 Parametry GPS	17
1.4.3 Shrnutí	17
1.5 PIR SENZOR	17
1.6 KAMERY	17
2 POUŽITÍ DETEKTORŮ POHYBU OSOB	18
2.1 MEDICÍNA	18
2.2 SPORT	21
2.2.1 Krokoměry	21
2.2.2 Monitorování aktivit	21
2.3 HERNÍ OVLADAČE	26
2.4 NAVIGACE	28
3 POŽADAVKY NA DETEKCI POHYBU OSOB	29
4 NÁVRH MODULU PRO DETEKCI POHYBU OSOB	30
4.1 SENZOR POHYBU	30
4.2 KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ	33
4.3 MIKROKONTROLÉR	34
4.4 NAPÁJENÍ	36
4.4.1 Baterie	36
4.4.2 Nabíjecí obvod	36
4.4.3 Napájecí obvod	39
4.5 SCHÉMA ZAPOJENÍ	40
4.6 NÁVRH PLOŠNÉHO SPOJE	40
5 SOFTWARE	42
5.1 INICIALIZACE	42
5.2 DETEKCE POHYBU	42
5.3 SIGNALIZACE	45
5.4 KOMUNIKACE	45
6 REALIZACE A VYHODNOCENÍ	47
ZÁVĚR	48
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	50
PŘÍLOHY	I

Úvod

Pády u starší populace jsou vážný zdravotní problém, který může způsobit kritické následky jako zlomeniny kyčle apod. Tyto zranění většinou doprovází omezení pohybu nebo bezvědomí. V tomto případě si lidé nejsou schopni zavolat sami pomoc, a pokud žijí osamoceni, mohou být objeveni až za několik dní. Cílem této práce bylo navrhnout a vytvořit modul, detekující pády s možností přivolání pomoci.

Teoretická část diplomové práce je zaměřena na problematiku detektorů osob. První část je rozdělena na metody detekce osob a použití detektorů pohybu osob. K detekci pohybu osob můžeme využít několik metod, které pracují na přímém kontaktu s měřenou osobou nebo pouze vizuálně. Vizuálně pracují například kamery nebo PIR senzory. Práce je převážně zaměřena na přímé měření akcelerometry a gyroskopy. Další metody pro detekci osob mohou být magnetometry nebo GPS.

Druhá teoretická část se zabývá použitím akcelerometrů a gyroskopů v oblasti detekcí pohybu osob. Zmiňované senzory naleznou uplatnění převážně v medicíně, výzkumu a sportu. V oblasti spotřební elektroniky umožňují ovládání gesty, změnou polohy či poklepáním.

Praktická část obsahuje návrh detektoru pohybu osob s využitím akcelerometru a gyroskopu. Detektor je nositelné zařízení, které přenáší data bezdrátovou technologií Bluetooth[®]. V druhé praktické části je popsán program pro detektor pohybu osob, který pomocí algoritmů vyhodnocuje pád, změnu orientace a pohybovou aktivitu. Při vyhodnocení pádu nebo stisknutí tlačítka alarmu je automaticky odeslána zpráva do terminálu. Terminál není součástí této práce. V poslední části této práce je ukázka programu, který zobrazuje stavy odeslané detektorem.

1 Metody detekce pohybu osob

Tato část popisuje metody, kterými lze detekovat pohyb osob a nastiňuje principy fungování jednotlivých snímačů detekující pohyb.

1.1 Akcelerometry

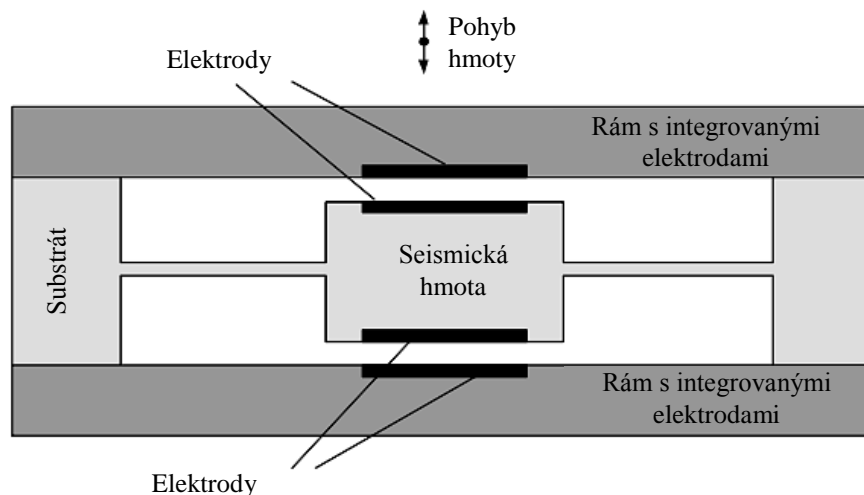
Akcelerometrické senzory jsou určeny k měření zrychlení sil, které mohou být statické nebo dynamické. Statická síla působí na každý objekt na Zemi jako gravitační zrychlení Země. Při měření statického zrychlení můžeme zjistit úhel vychýlení vzhledem k zemskému povrchu. Takto je možné detekovat změnu náklonu. Druhým typem je dynamické zrychlení, které se skládá ze samotného zrychlení tělesa a z gravitačního zrychlení. Dynamické zrychlení je způsobeno pohybem nebo vibrováním akcelerometru. [1]

1.1.1 Princip akcelerometrů

Akcelerometry přeměňují fyzikální veličinu zrychlení (změnu pohybu) na měřitelný elektrický signál. Tři základní principy akcelerometrů:

- **Kapacitní akcelerometry**

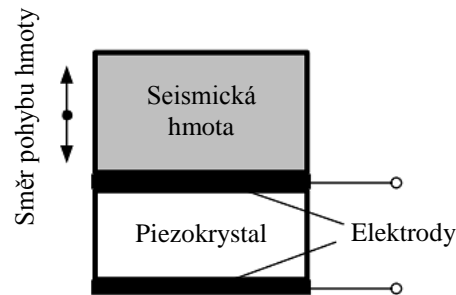
Na Obr. 1.1 je znázorněn základní princip kapacitního akcelerometru. Seismickou hmotu obklopují dvě elektrody, které tvoří dvě kapacity. Seismická hmota je připojena pružinami k substrátu a při pohybu dochází ke změně vzdálenosti desek. Vzdálenost desek od elektrod ovlivňuje velikost kapacity (na jedné roste a na druhé klesá). Tento princip je základem pro složitější uspořádání např. hřebenové, které je použité v integrovaném kapacitním akcelerometru. [2]



Obr. 1.1 Princip kapacitního akcelerometru (převzato z [2])

- **Piezelektrické akcelerometry**

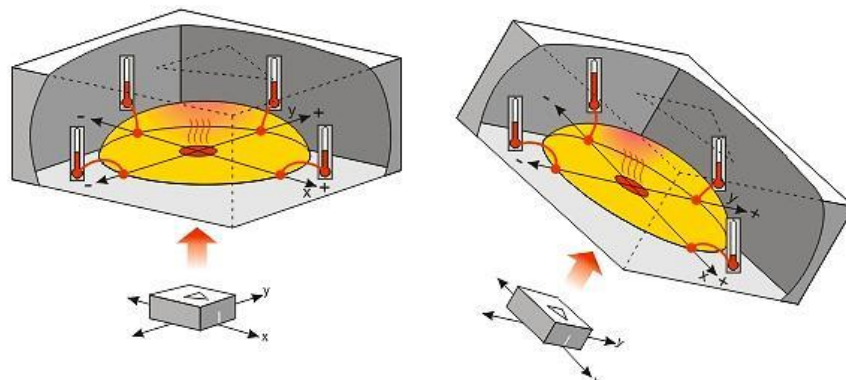
Aktivním prvkem senzoru je piezelektrický materiál, který je pevně spojen se základnou senzoru a seismickou hmotou. Obr. 1.2 je znázorněn směr pohybu hmoty, který vyvolá sílu působící kolmo na piezokrystal. Velikost síly odpovídá vyvolanému zrychlení seismické hmoty a způsobuje napětí v elektrodách. Napětí v elektrodách je úměrné generované vnější síle tedy i zrychlení seismické hmoty. [3]



Obr. 1.2 Princip piezelektrického akcelerometru (převzato z [2])

- **Tepelné akcelerometry**

Základním principem tepelného akcelerometru je přenos tepla v klidném a proudícím plynu. Na středu akcelerometru se nachází zdroj tepla a na okraji čtyři teplotní snímače. Zdroj tepla ohřívá plyn, který stoupá vzhůru a studený klesá dolů. Pokud se snímač nepohybuje, je teplota na všech teplotních snímačích stejná (Obr. 1.3 vlevo). Působením zrychlení na akcelerometr, bude horký plyn vychýlen blíže k teplotnímu snímači (Obr. 1.3 vpravo), který vyvolá změnu teploty odpovídající zrychlení v daném směru. [4]



Obr. 1.3 Princip tepelného akcelerometru (převzato z [4])

1.1.2 Parametry akcelerometrů

Důležitým parametrem je měřící rozsah akcelerometru. Pokud uvažujeme jen měření náklonu, způsobené zemskou gravitací, bude dostatečný měřící rozsah $\pm 1,5$ g. Při měření pohybu auta nebo letadla, bude zapotřebí ± 2 g a pro měření s neočekávanými starty nebo zastavení může být zapotřebí ± 5 g a více. Akcelerometry mohou mít analogové nebo digitální výstupy. U analogových výstupů je výstupem spojitě napětí úměrné zrychlení. Digitální akcelerometry obvykle využívají šířkovou pulzní modulaci (PWM) nebo sběrnici např. I²C.

Rychlost změn, které je akcelerometr schopen vyhodnotit, udává šířka pásma. Při malých změnách je dostatečná šířka pásma 50 Hz, u rychlejších změn bude zapotřebí šířka pásma několik stovek Hz. Dalšími parametry jsou počet os (1D, 2D nebo 3D), teplotní rozsah, odolnost proti rušení a citlivost akcelerometru, která souvisí se spotřebou akcelerometru.

1.1.3 Shrnutí

Akcelerometry je možné měřit zrychlení, náklon, sklon, rotaci, vibrace, detekci kolize a gravitaci. Starší akcelerometry byly drahé a velkých rozměrů, to se ale změnilo příchodem MEMS (mikro - elektromechanických - systémů).

Piezelektrické akcelerometry nelze použít pro frekvence menší než 0,1 Hz, tedy statického zrychlení. Vygenerovaný náboj se vybije vnitřním odporem a svody.

Tepelné akcelerometry mají menší citlivost (1% změny výstupního signálu/g) než piezelektrické a kapacitní akcelerometry, ale mají menší náchylnost k elektromagnetickému a elektrostatickému rušení. Další výhodou je, že nemají pohyblivé ani mechanické části. Proto najdou uplatnění například v automobilech.

Kapacitní akcelerometry jsou dnes nejpoužívanějším typem. Vyrábějí se převážně MEMS technologií, která umožňuje vytvořit 3D akcelerometr malých rozměrů.

1.2 Gyroskopy

Gyroskop je zařízení používané k měření orientace objektu. Vynalezl ho francouzský vědec Jean Bernard Leon Foucault roku 1852. První uplatnění našel v orientaci lodí v mlze, řízení balistických střel a později v navigaci letadel.

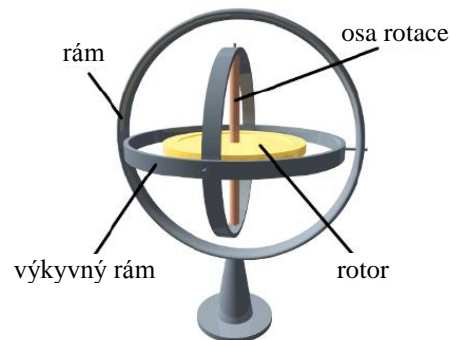
Obecně gyroskopem může být jakékoliv těleso, které se snaží zachovat svou osu rotací díky zákonu zachování hybnosti. Tento jev se nazývá gyroskopický efekt, ke kterému dochází, pokud je hmotnost setrvačnicku soustředěná po obvodu. Gyroskop může být například točící se kolo od motorky nebo motocyklu.

1.2.1 Princip gyroskopů

Prvními gyroskopy byly mechanické. Roku 1960 se představily pro komerční použití laserové gyroskopy využívající laser a nyní jsou nejpoužívanější gyroskopy vytvořené MEMS technologií. [5]

- **Mechanické gyroskopy**

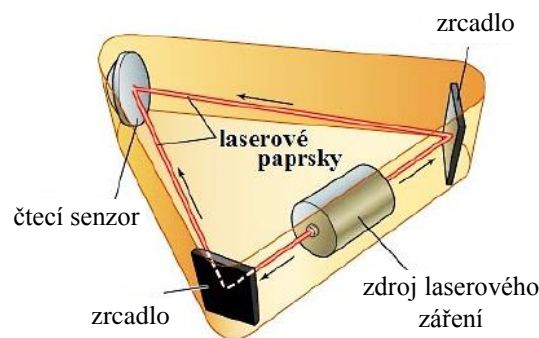
Mechanické gyroskopy využívají fyzikální zákon zachování momentu hybnosti. Na obr. 1.4 je znázorněn mechanický gyroskop se třemi stupni volnosti. Ve středu gyroskopu se nachází setrvačnick, který se otáčí konstantní rychlostí kolem své osy v inerciálním systému. Pokud natočíme gyroskop, změní se poloha mezi setrvačnickem a vnějším ramenem o úhel natočení. Změna orientace byla vyhodnocena pohybem kroužků. U starší verze fyzickým měřením zářezů a u novějších provedení laserovém měřením vzdáleností. [5]



Obr. 1.4 Mechanický gyroskop se třemi stupni volnosti (převzato z [6])

- **Optické gyroskopy**

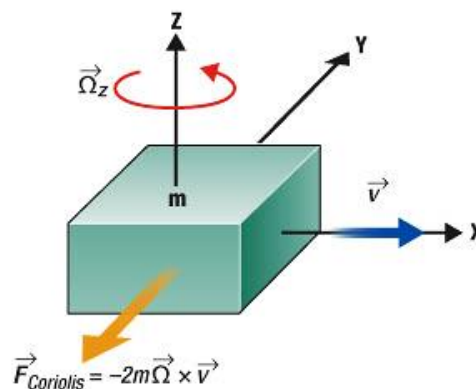
Mezi optické gyroskopy patří kruhový laserový gyroskop (RLG, ring laser gyroscope). RLG pracuje na základě měření časového rozdílu příchodu laserového paprsku na detektor. Ze zdroje laserové záření je vyslán signál různými směry po kruhové dráze (optickým vláknem) nebo trojúhelníkové (při použití zrcátek). Při pohybu paprsku se mění fázový posun, který je detekován na přijímači viz obr. 1.5. [7]



Obr. 1.4 Mechanický gyroskop se třemi stupni volnosti (převzato z [7])

- **MEMS gyroskopy**

MEMS gyroskopy pracují na základě deformace vibrující hmoty vzhledem k otáčení objektu. Pokud se vibrující hmota začne otáčet kolmo ke směru vibrující hmoty, začne vznikat na vibrující část Coriolisova síla (viz obr. 1.5). Tato síla je úměrná úhlové rychlosti otáčení senzoru. Působící síla je vyhodnocena podle typu MEMS gyroskopu. U gyroskopů s označením „tuning fork gyroscope“ dochází k ohýbání vidlice. „Vibrating wheel“ gyroskop obsahuje vibrující kolečko, které se při změně orientace senzoru nakloní a způsobí změnu kapacity. Další používaný gyroskop je piezoelektrický, u kterého vzniká napětí při deformaci hmoty. [8]



Obr. 1.5 Coriolisova síla (převzato z [8])

1.2.2 Parametry gyroskopů

Důležitým parametrem gyroskopů je měřicí rozsah, který se pohybuje od desítek až po stovky stupňů za sekundu. Dalšími parametry jsou rozlišení a citlivost, která je závislá na teplotě. V poslední řadě napájecí napětí a odebíraný proud v klidovém režimu i pohotovostním. Většina gyroskopů má funkci self-test, při které lze ověřit funkčnost gyroskopu bez nutnosti fyzického pohybu gyroskopu.

1.2.3 Shrnutí

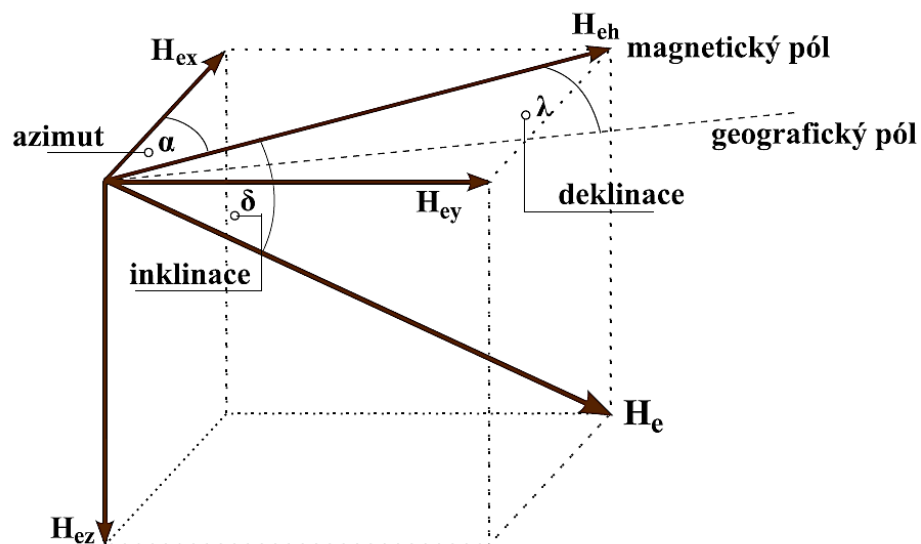
Přesnost u mechanických gyroskopů je závislá na konstantní rychlosti setrvačnicku, který je zapotřebí pohánět. Použití mechanických gyroskopů je energeticky náročné a další nevýhodou je hmotnost, velikost a komplikované mechanické řešení.

Optické gyroskopy mají výhodu vysoké přesnosti, menší hmotnosti řádově stovky gramů a jsou bez pohyblivých mechanických částí. Přesnost lze zvýšit např. délkou optického vlákna. Nevýhodou je energetická náročnost, cena a detekce pouze jedné osy. Díky vysoké přesnosti najdou uplatnění pro vojenské aplikace.

MEMS gyroskopy jsou velmi malé a málo energeticky náročně. Vyrábějí se v sériových výrobcích při nízkých nákladech s malými rozměry tak, aby vyhovovaly na trhu spotřební elektroniky. Využití naleznou především v mobilních telefonech pro natočení obrazu, v automobilech v systému stabilizace řízení nebo pro aktivaci airbagů při převrácení.

1.3 Magnetometry

Magnetometry obecně měří jakékoliv magnetické pole velikostí spadající do rozsahu použité součástky. Téměř výhradně se používají pro měření magnetického pole Země. Z naměřených údajů lze vypočítat úhel odklonu od severu, tedy azimut. Obr. 1.6 zobrazuje 3D vektor magnetického pole H_e v libovolném bodě na Zemi. Vektory H_{ex} a H_{ey} jsou rovnoběžné a vektor H_{ez} směřuje do středu Země.



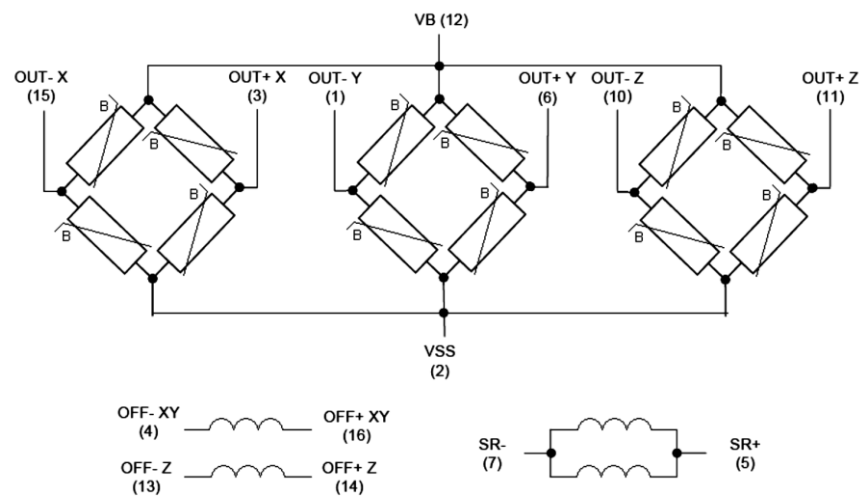
Obr. 1.6 Vektor magnetického pole Země (převzato z [9])

Velikost měřeného pole je závislé na místě měření. Magnetický a geografický pól se neshoduje a jeho odchylka je označena λ (deklinace). Azimut určuje úhel α a úhel δ (inklinace) mezi vektorem magnetického pole H_e a vektorem H_{ez} , směřující do středu Země. Velikost H_{ez} na rovníku je rovna 0° a na rovníku se blíží $\pm 90^\circ$. [9]

1.3.1 Princip magnetometrů

Magnetometry jsou založeny na principu měření magnetického pole. K měření je možné využít magnetorezistivního jevu, který je založen na změně odporu magnetického materiálu při změně působícího magnetického pole.

K měření lze využít například tři snímače magnetického pole ve formě Wheatstonových můstků (viz *Obr. 1.7*) složených z rezistorů z magnetorezistivního materiálu. Každý můstek je orientován ve směru jedné měřicí osy (podle *Obr. 1.6* ve směru H_{ex} , H_{ey} a H_{ez}). Kalibrace je prováděna cívky OFF-XY, OFF-Z, SR.



Obr. 1.7 Příklad vnitřní struktury magnetometru (převzato z [9])

1.3.2 Parametry magnetometrů

Základní parametry magnetometrů jsou citlivost, rozsah měřitelných polí a maximální offset. Hlavním parametrem je počet měřených os a možná korekce výstupu. U digitálního magnetometru rozhraní výstupu, které bývá I²C a přesnost A/D převodníku.

Dalšími parametry jsou typické vlastnosti integrovaných obvodů jako např. napájení, teplotní stabilita apod.

1.3.3 Shrnutí

Magnetometry slouží k měření magnetického pole a lze je použít jako snímače orientace. Pro snímání orientace je důležité kompenzovat výchylku od rovnovážné polohy snímače s povrchem Země. Ke kompenzaci je možné využít akcelerometru, který je schopen měřit orientaci k Zemskému povrchu. Magnetometry jsou citlivé na všechny materiály a zařízení, které deformují magnetické pole Země. Tyto chyby můžeme eliminovat odstraněním předmětů z blízkosti snímače (pravidlem je dvojnásobek velikosti magnetometru).

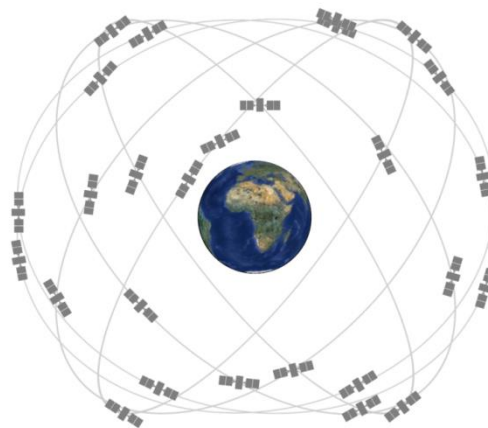
I přes tyto problémy dosahují magnetometry přesnosti na desetiny stupně a na rozdíl od gyroskopů se jejich chyba postupem času nezvětšuje.

1.4 GPS

GPS (Global Positioning System) je družicový navigační systém, vyvinutý a provozovaný americkým ministrem obrany. GPS umožňuje kdekoliv na zemi, moři a ve vzduchu určit trojrozměrně jejich polohu, rychlost a čas.

1.4.1 Princip GPS

GPS se skládá ze tří částí: vesmírný, řídicí a uživatelský segment. Vesmírný segment se skládá z minimálně 24 operačních družic, které obíhají ve výšce 20 200 km nad povrchem Země na 6 kruhových drahách se sklonem 55° (viz *Obr. 1.8*). Satelity oběhnou Zemi za 12 hodin a jsou rozmístěny tak, aby pokrylo uživatele vždy 6 družic kdekoliv na světě. Satelity neustále vysílají svoji pozici a časový údaj. [10]



Obr. 1.8 Oběžné dráhy družic (převzato z [11])

Řídicí segment se skládá z hlavní řídicí stanice, monitorovacích stanic a pozemních antén umístěné po celém světě. Monitorovací stanice shromažďují informace od každého satelitu a zasílá je zpět do hlavní řídicí stanice, která vypočítá přesné satelitní oběžné dráhy. Aktualizované informace se zpětně odesílají přes pozemní antény do satelitů.

Uživatelský segment se skládá z přijímače a antény, které umožní uživatelům přijímat GPS signál a vypočítat přesnou polohu, rychlost a čas. [10]

1.4.2 Parametry GPS

Hlavním parametrem GPS přijímačů je citlivost, použitý chipset a periférie pro připojení externího zařízení. Počet kanálů je parametr, který udává maximální počet současně připojených satelitů. Dalším parametrem je podpora DGPS (diferenciální GPS), která umožňuje zpřesnění výsledků měření. V Evropě se jedná o EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) a udává informace o stavu satelitů (odchylka drah a atomových hodin) a parametry pro ionosférický model.

1.4.3 Shrnutí

GPS modul umožňuje pomocí algoritmů a satelitů zjistit přesnou polohou a rychlost objektu na Zemi. Nevýhoda je nutnost přímé viditelnosti antény modulu a satelitu. V případě ztracení signálu lze kombinací dalších senzorů (magnetometr, akcelerometr a gyroskop) dopočítávat trasu objektu, dokud není signál obnoven.

1.5 PIR senzor

Pasivní infračervený senzor (PIR) je elektronický snímač, který měří infračervené (IR) světlo vyzařující z objektů v jeho zorném poli. PIR senzor se používá pro detekci pohybu osob, zvířat nebo jiných objektů například v zabezpečovací technice. Pracuje na principu změny infračerveného záření, kterým můžeme detekovat pohyb. Jaký pohyb, případně kdo pohyb vykonal detekovat nelze. Další nevýhodou je detekce pohybu pouze v zorném poli senzoru.

1.6 Kamery

Pomocí kamery lze detekovat pohyb osob a složitými algoritmy vyhodnotit přesný pohyb osob. V zabezpečovací technice je možné nastavit velikost a citlivost na pohyb objektu, kdy je zapnuto záznamové zařízení. Další uplatnění naleznou kamery v herním zařízení (např. Microsoft Kinect), kde jsou detekovaná gesta a pohyby hráčů. Použití kamer pro detekci pohybu má stejnou nevýhodu jako použití PIR senzorů v pokrytí malé části prostoru. Výhodou je určení typu pohybu pomocí softwaru.

2 Použití detektorů pohybu osob

Tato kapitola je zaměřena na úzkou oblast detekce osob využívající akcelerometry a gyroskopy. Další uplatnění naleznou například v automobilním a leteckém průmyslu.

2.1 Medicína

V následujících podkapitolách jsou uvedené příklady použití akcelerometrů a gyroskopů v medicíně, které byly popsány v odborných publikacích.

- ***Sledování aktivit osob***

Společnost Toshiba vyvinula monitorovací systém běžných aktivit starších lidí, který je popsán v článku [12]. Systém zaznamenává vnitřní i venkovní aktivity člověka pomocí chytrého telefonu. Využívá integrované senzory v mobilním telefonu jako je akcelerometr, mikrofon a dále je možné připojit externí zařízení pomocí Bluetooth[®] pro sledování životních funkcí člověka.

Naměřená data jsou odesílána na monitorovací server, který tvoří databázi biologických údajů a log aktivit. Součástí monitorovacího serveru je detektor anomálií, který po vyhodnocení události automaticky odesílá e-mail. Na monitorovací server mohou přistupovat odkudkoliv pečovatelé a příbuzní přes webové rozhraní. Zobrazuje kompletní historii aktivit a tepové frekvence měřené osoby.

Pomocí akcelerometru jsou vyhodnoceny aktivity jako odpočinek, chůze a běh. S pomocí mikrofonu jsou vyhodnoceny další činnosti jako je čištění zubů, vysávání, umývání nádobí, žehlení, holení, fénování, splachování toalety a mluvení.

Testování zařízení probíhalo s 22 jedinci na modelovém obývacím pokoji, kdy každou činnost dělali 10 s. Testováno bylo také umístění senzoru v kapse u kalhot, náprsní kapse a na zápěstí. Na zápěstí bylo plánováno zařízení jako nositelný senzor v podobě hodinek. Z průměrných naměřených hodnot byla úspěšnost u senzoru v kapse kalhot 89,5 %, 93,8 % u náprsní kapsy a 91,0 % pro zápěstí. To ukázalo nejlepší použití pro náprsní kapsu, ale další pozice jsou také možné. [12]

Společnost Toshiba vyvinula systém pro sledování celodenních aktivit u starších lidí, který umožňuje kontrolu zdravotního stavu příbuzným, přátelům a pečovatelům.

- ***Senzory pro kontinuální sledování srdeční funkce***

V současné době stoupá počet pacientů se sníženou funkcí srdce, kteří potřebují chirurgický zákrok. Současné metody pro monitoring srdce jsou značně omezené. Elektrokardiografické (EKG) sledování je nejjednodušší metoda pro kontinuální monitorování srdečních infarktů v průběhu a po operaci, ale postrádá citlivost a specifickou. Současné zobrazovací techniky mohou rychle detekovat změny srdeční funkce, ale nevýhodou je jejich velikost, nutnost použití kvalifikované osoby a nejsou konstruovány na nepřerušovaný provoz. [13]

Výzkum popisovaný v článku [13] se zabývá vývojem nových senzorů pro kontinuální sledování srdečního tepu v průběhu operace a po operaci. První systém využívá 3D akcelerometry pro měření pohybu epikardiálního povrchu. Druhý systém využívá miniaturní ultrazvukové měniče upevněné na povrchu srdce, které měří kontrakce srdečního svalu. Oba systémy byly testovány na zvířatech i člověku a prokázaly svou schopnost poskytovat vysoce kvalitní měření.

Ultrazvukové sondy poskytují velmi lokální informace, zatímco údaje z akcelerometru se zdají být spojeny s globální funkcí srdce. Ultrazvukový systém vyžaduje vysokou rychlost přenosu dat a těžká zpracování, ale výsledky jsou jednoduché pro interpretování. Výpočetní výkon a přenosová rychlost dat z akcelerometru je poměrně nízká. Optimální zpracování dat a jejich interpretace z akcelerometru není jednoduchá, ale různé režimy byly testovány se slibnými výsledky. Oba systémy senzorů s EKG a měřením tlaku jsou zpracovány v programu vytvořeného v LabView od firmy National Instruments Inc. Všechna data jsou ukládána a umožňují pak následné zpracování například v programu Matlab nebo LabView. [13]

Oba snímače jsou připojeny k povrchu srdce během chirurgického zákroku. Cílem výzkumu je zmenšit velikost snímačů, aby bylo možné hrudník uzavřít a před opuštěním pacienta z nemocnice snímače vytáhnout přes hrudní stěnu a kůži. [13]

- ***Sledování Parkinsonovy choroby***

Akcelerometry naleznou další využití například u diagnózy a sledování stavu pacientů s Parkinsonovou chorobou. Parkinsonova choroba je neurodegenerativní porucha projevující se například třesem ruky, který lze zaznamenávat akcelerometrem. V článku [14] je popsáno použití s mobilním telefonem iPhone na hřbetu ruky. Zaznamenaná data jsou odesílána

na server pro následné zpracování a vyhodnocení. Článek [15] navazuje na předchozí a uvádí výzkum a testování rukavice s integrovaným bezdrátovým 3D akcelerometrem.

- **Detekce hrbení**

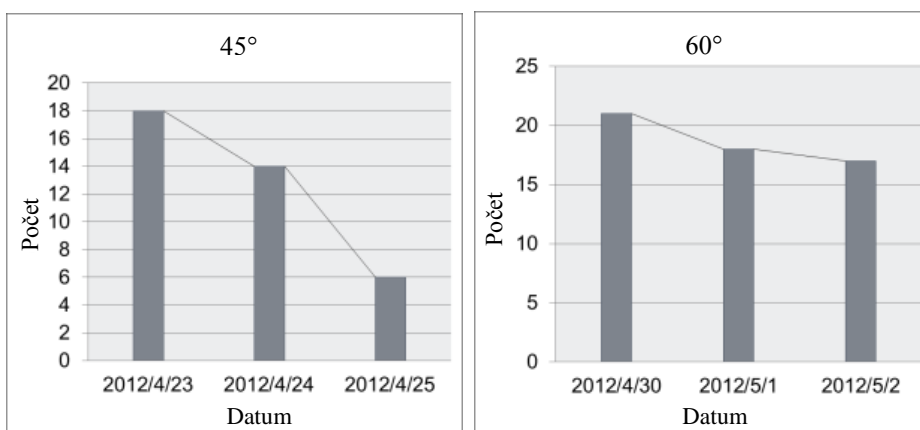
Cílem výzkumu byl autistický student, který se nevědomky hrbil. K hrbení docházelo při skupinových aktivitách, pokud mu nebyla věnována pozornost. Student vykazoval mírnou skoliózu páteře, způsobenou právě hrbením zad. Učitelé speciální školy byli povinni sledovat jeho stav a upozornit ho, aby narovnal záda. Jako detektor pohybu byl implementován chytrý mobilní telefon do trička na zádech (Obr. 2.1). [16]



Obr. 2.1 Tričko se senzorem (převzato z [16])

Mobilní telefon byl vybaven akcelerometrem, kterým je vyhodnocována poloha zad. Tak to lze detekovat hrbení, úklon, spánek na břicho nebo na zádech. S ohledem možných vlivů elektromagnetických vln na zdraví byly všechny komunikační funkce vypnuty režimem letadlo. Vypnutím funkcí bylo docíleno snížení spotřeby mobilního telefonu.

V prvním týdnu testování byl alarm nastaven na 45° (Obr. 2.2 vlevo) a další týden zpřísněn na 60° (Obr. 2.2 vpravo). Z naměřených výsledků došlo k výraznějšímu zlepšení při nastavených 45°. Jako alarm byly nejprve použity vibrace telefonu, které měly masážní efekt, a proto nedocházelo k narovnání. Dalším pokusem byla mírná klasická hudba, která byla účinnější než vibrace. Nakonec byl jako alarm použit monotónní zvuk kočičího mňoukání.



Obr. 2.2 Počet detekcí při 45° a při 60° (převzato z [16])

Zpětná vazba od učitele ukázala, že s pomocným zařízením docházelo ke zlepšení pozornosti při studiu a spolupráci se spolužáky. [16]

2.2 Sport

Pomocí akcelerometrů lze měřit zrychlení, podle kterého lze nejlépe měřit energetický výdej při tělesné aktivitě. V následujících podkapitolách jsou popsány příklady použití detektorů pohybu v oblasti sportu.

2.2.1 Krokoměry

Krokoměry neboli pedometry jsou mechanické nebo elektronické přístroje měřící počet kroků. Krokoměr funguje na principu mechanického senzoru detekující krok. Pokud nastavíme do krokoměru délku kroku, může vypočítat uraženou vzdálenost. Krokoměry můžeme rozdělit podle vyhodnocujících os na 1D, 2D a 3D.

1D krokoměry využívají mechanické kyvadélko, které spíná kontakt při pohybu v jednom směru. V tomto případě je nutné mít připnutý senzor na opasku nebo noze. Jedná se o nejlevnější druh krokoměru.

2D krokoměry nejsou náchylné na mírný náklon a je tak umožněno použití například na krku. Tyto krokoměry jsou přesnější od 1D, protože dokáží filtrovat náhodné pohyby těla.

3D krokoměry mohou být umístěny například v baťoše, v kapse nebo na krku. Vyrábějí se také v podobě digitálních náramkových hodinek. Využívají 3D akcelerometr, který umožňuje filtraci náhodných pohybů a měřit ve 3 osách. Započtení počtu kroků většinou dochází až po šestém plynulém pohybu, kdy je naměřeno dostatečné množství dat. [17]

2.2.2 Monitorování aktivit

Na dnešním trhu se nachází mnoho výrobců zabývajících se zařízením pro sledování fyzických aktivit. Tyto monitorovací zařízení jsou dostupné nejen pro profesionální sportovce, výzkum, ale i pro běžnou veřejnost. Následující podkapitoly jsou zaměřeny na výrobky miCoach, Nike+ a ActiGraph. V poslední podkapitole je ukázka analýzy horolezce.

- ***MiCoach***

Produkty s označením miCoach byly vyrobeny firmou Adidas pro monitorování sportovního tréninku. Samostatné produkty jsou miCoach SMART RUN, miCoach PACER, miCoach X_Cell a aplikace do mobilních telefonů miCoach.

Běžecské hodinky miCoach SMART RUN (Obr. 2.3) umožňují měření srdečního tepu, měření rychlosti, vzdálenosti, kadence a logování trasy. Hodinky využívají akcelerometr, GPS a senzor srdečního tepu. Součástí hodinek je trénování pomocí obrazových nebo hlasových zpráv, které jsou přenášeny pomocí Bluetooth[®] do bezdrátových sluchátek. Další funkcí jsou hodinky, stopky a 4 GB paměti pro ukládání hudby a naměřených dat. Naměřená data je možné přenášet pomocí bezdrátového internetového připojení a synchronizovat se serverem miCoach.com. [18]



Obr. 2.3 miCoach SMART RUN (převzato z [18])

Souprava s miCoach PACER (Obr. 2.4) obsahuje centrální řídicí jednotku, monitor tepové frekvence a krokoměr. Krokoměrem s označením Speed Cell zaznamenává celkový čas tréninku, celkovou uběhnutou vzdálenost, průměrnou i aktuální rychlost, energetický výdej, tempo a frekvenci kroků. Tento senzor se může připevnit na tkaničky bot, nebo vložit do podrážky obuvi, která je kompatibilní s přístrojem miCoach. MiCoach PACER je centrální řídicí jednotka, která vyhodnocuje data z krokoměru a senzoru tepové frekvence. Na základě vyhodnocených dat dává běžci pokyny pomocí sluchátka. [18]



Obr. 2.4 sada miCoach Pacer: řídicí jednotka, monitor tepové frekvence, krokoměr (převzato z [18])

Další v nabídce produktů je aplikace do mobilního telefonu miCoach MOBILE, která je dostupná pro iPhone, BlackBerry a Android. Samostatná aplikace pracuje s integrovaným GPS v mobilním telefonu a zaznamenává vzdálenost, tempo, spálené kalorie a uplynulý čas. K aplikaci lze připojit miCoach SPEED_CELL[™] (Obr. 2.5 vlevo), který zaznamenává údaje o nejvyšší rychlosti, okamžité rychlosti, celkové vzdálenosti a době trvání zápasu. Jedná se o podobné zařízení krokoměru, popisované v předchozím odstavci, které je možné

integrovat do boty kompatibilní s miCoach nebo pomocí spony připevnit na tkaničku. Rozdíl je, že umožňuje zaznamenávat až 8 hodin měření bez asistence jiného zařízení. Vyhodnocení je možné provést v mobilním telefonu nebo počítači. Dalším příslušenstvím k mobilní aplikaci je monitor tepu miCoach HRM2 (Obr. 2.5 vpravo). Zařízení je možné připojit hrudním pásem, případně na oblečení pro monitor srdečního tepu. Údaje o srdečním tepu se měří a přenáší frekvencí 1 Hz pomocí bezdrátové technologie Bluetooth®.



Obr. 2.5 miCoach SPEED_CELL™ vlevo, miCoach HRM2 vpravo (převzato z [18])

Novinkou zařízení od firmy Adidas je miCoach X_Cell, které zaznamenává srdeční tep, zrychlení, výšku skoku, rychlost zastavení i otočky vpravo nebo vlevo. Data jsou získávána z integrovaného monitoru srdečního tepu, 3D akcelerometru a 3D magnetometru. Kombinací akcelerometru a magnetometru je možné měřit síly generované ve směru a určit, zda se jedná o skoky, zrychlení dopředu, dozadu, doprava nebo doleva. Zařízení lze nosit na opasku nebo pomocí hrudního popruhu, který umožňuje měření srdečního tepu. Vnitřní paměť má kapacitu až pro 7 hodinový trénink. Synchronizace naměřených dat do mobilního telefonu nebo počítače se provádí pomocí Bluetooth®. Pro sporty basketbal, fotbal, tenis, házenou a americký fotbal jsou připraveny profesionální tréninky na základě srdečního tepu. [18]

- **Nike+**

Nike+ nese označení produktů pro sledování sportovních aktivit od společnosti Nike. Produkty Nike+ jsou zařazeny do tří kategorií. Do první kategorie spadají produkty pro sledování běhu. Jedná se o sportovní hodinky Nike+ SportWatch GPS, náramek NIKE+ SportBand, krokoměr Nike+ Sensor, mobilní aplikaci Nike+ Runnig App a aplikaci pro iPod nano. Druhou kategorií představuje Nike+ Kinect Training, který je určen do zařízení Xbox 360. Poslední kategorií je sledování hry s produktem Nike+ Basketball.

Sportovní hodinky Nike+ SportWatch GPS (Obr. 2.6 vlevo) zaznamenávají trasu, rychlost, dobu, počet kol a spálených kalorií. Hodinky využívají vestavěný GPS modul a umožňují připojení krokoměru Nike+ Running Sensor. Krokoměr se vkládá stejně jako

produkt od Adidas do podrážky boty nebo pomocí klipu na tkaničky boty. Další doplňující příslušenství může být Polar Wearlink+ pro sledování srdečního tepu.

Mobilní aplikace Nike+ Runnig je určena pro mobilní telefony iPhone nebo mobilní telefony se systémem Android. Využívají GPS modul integrovaný v telefonu a umožňují zaznamenávání GPS polohy, času, rychlosti, trasy, spálených kalorií a uražené vzdálenosti. Naměřená data lze sdílet na sociálních sítích.



Obr. 2.6 Nike+ SportWatch GPS vlevo, Nike+ SportBand vpravo (převzato z [19])

Sportovní náramek Nike+ SportBand (Obr. 2.6 vpravo) a aplikace v iPod nano umožňuje spojení s krokoměrem Nike+ Running Sensor. Na display je možné zobrazit počet kroků, uběhnutou vzdálenost, tempo, čas a spálené kalorie. Pomocí Bluetooth® lze připojit monitor srdečního tepu. Sportovní náramek má výhodu malého provedení a s funkcí času je umožněno použití jako klasické hodinky při každodenní činnosti. Výhoda s použitím iPod nano je vestavěný hudební přehrávač hudby.

Aplikace Nike+ Kinect Training je určená pro Xbox 360 s Kinect senzorem. Kinect senzor obsahuje kameru, která sleduje každý pohyb a umožňuje tak trénovat v reálném času. Aplikace Vám nabídne výběr osobního trenéra, cíle a dny tréninku. Podle zadaných kritérií vybere pro Vás ten nejvhodnější tréninkový plán. V aplikaci je možné měřit kondici a sledovat svůj pokrok v průběhu času.

Produkt Nike+ Basketball představuje speciální boty s tlakovými senzory připojené k Nike+ Sport Sensors, který obsahuje 3D akcelerometr zaznamenávající výkonové a pohybové informace. Tlakové senzory umožňují měření vertikálního skoku pomocí doby trvání ve vzduchu. Zkreslené informace mohou vzniknout například zavěšení hráče na koši. [19]

- **ActiGraph**

Společnost ActiGraph nabízí produkt pro sledování aktivit wGT3X-BT Monitor (Obr. 2.7 vlevo) a pro sledování spánku wActiSleep-BT Monitor (Obr. 2.7 vpravo). K produktům je možné připojit monitor srdečního tepu Bluetooth® Heart Rate Monitor. Produkty se převážně využívají pro výzkumné studie fyzické aktivity a poruchy spánku.



Obr. 2.7 wGT3X-BT Monitor vlevo, wActiSleep-BT Monitor vpravo (převzato z [20])

Produkty využívají 3D akcelerometr, který měří v rozsahu ± 8 g. Podle použitého měření je senzor umístěn na zápěstí, pasu, kotníku nebo stehnu. Při rozsáhlém měření je možné využít několika zařízení na více umístění. Data jsou ukládána v surových datech s frekvencí od 30 do 100 Hz. Datové úložiště s kapacitou 2 GB umožňuje 120 dní záznamu. Data jsou přenášena pomocí Bluetooth® nebo USB rozhraní. Software ActiLife 6 je určen pro analýzu dat. Z programu je možné určit energetický výdej, definovat a odhalit záchvaty fyzické aktivity, počet výskytů, čas strávený v záchvatech a celkový počet úrovní záchvatu. Program dále umožňuje grafické zobrazení spánku, bdění, množství spánku a efektivitu spánku pomocí několika ověřených algoritmů. Z analýzy je možné určit, zda monitorovaný subjekt stál, seděl, ležel nebo bylo zařízení odstraněno.

ActiGraph řešení lze realizovat v širokém rozsahu výzkumu a klinických situacích, kde se využívá sledování fyzické aktivity a spánku. Data je možné přenášet na zabezpečený webový server se vzdáleným přístupem a analyzovat je v reálném čase. [20]

- **Pohybová analýza horolezce**

V článku Movement Analysis in Rock-Climbers [21] je popsán systém pro výpočet výdeje energie v končetinách horolezce. Systém měření obsahoval deset 3D akcelerometrů s rozsahem měření ± 3 g a vzorkovací frekvencí 50 Hz. Důležitým parametrem akcelerometrů byla vysoká rázová odolnost větší jak 5000 g, která zabrání zničení akcelerometru při pádu horolezce. Data ze senzorů jsou přenášena komunikačním čipem CC2420 s maximálním přenosem dat 250 kb/s. Předpoklad požadované rychlosti dat pro měření z deseti senzorů byl

24 kb/s (plus zprávy a vrstva adresování). Součástí experimentu byli tři lezci s různými zkušenostmi. Každý lezec byl vybaven akcelerometry na každém kotníku, stehně, lopatce, horní části paže a zápěstí. Při výstupu byly zaznamenány značky pro pozdější analýzu dat. Značky byly například: začal stoupat, odpočívá, pád a konec stoupaní. [21]

Demonstrace ukázala síťový systém senzorů pro monitorování výdeje energie při fyzické aktivitě. Podobný systém se používá i v dalších projektech jako je například studie dynamiky auta s detekcí výmolů v silnici.

2.3 Herní ovladače

Použití akcelerometrů, gyroskopů a kamer je rozšířeno v herních ovladačích a mobilních telefonech, které na základě detekce pohybu umožňují ovládat zařízení. U zařízení pouze s akcelerometrem lze rotaci určit aproximací směru gravitace jako referenci pro naklonění. Tato aproximace není spolehlivá a v některých případech jako je rotace v rovině, která je kolmá na gravitaci nelze rotaci určit. V článku [22] je popsán test použití kombinace akcelerometru a gyroskopu při detekci gest. Bylo vybráno 6 žen a 9 mužů, kteří zadali 15 krát 6 různých gest. Výsledkem testu bylo zlepšení až o 4 %.

Většina herních ovladačů je vybavena senzory náklonu. Následující body se zaměřují na ovladače detekující gesta a pohyby.

- **PlayStation® Move**

PlayStation® Move na Obr. 2.8 je zobrazen herní ovladač s detekcí pohybu pro herní konzoli PlayStation®3 od společnosti Sony. Přesné pohyby ovladačem detekuje 3D gyroskop, 3D akcelerometr a 3D magnetometr. Ovladač je vybaven koulí s RGB LED, která je snímána kamerou. Tato kombinace umožňuje přesné určení hráče v 2D prostoru. K herní konzoli je možné připojit až 4 ovladače, na kterých je nastavena jiná barva koule. Data ovladače jsou zpracována 32 bitovým mikrokontrolérem STM32F103VB a přenášena bezdrátovou technologií Bluetooth®. [23, 24]



Obr. 2.8 PlayStation® Move (převzato z [23])

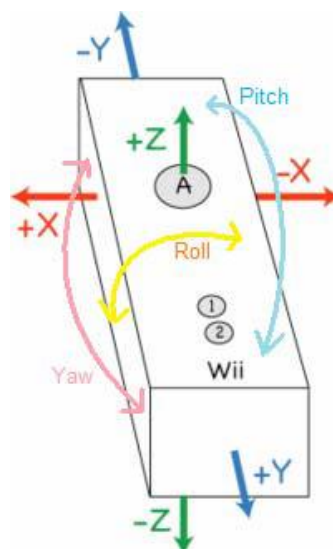
- **Wii Remote**

Herní ovladač Wii Remote na *Obr. 2.9* vlevo je určen pro herní konzoli Nintendo Wii. Wii Remote detekuje otočení, výpad, naklonění a třesení. Využívá k tomu 3D akcelerometr a kameru, která sleduje pozici směřující ovladače k obrazovce. K ovladači je možné připojit na rozšiřující port ovladač Nunchuck (*Obr. 2.9* pravo), který obsahuje analogovou páčku a 3D akcelerometr. Dalším rozšířením ovladače Wii Remote je Wii MotionPlus, který lze připojit na spodní část a rozšíří tak ovladač o senzor gyroskopu. Případně je možné zakoupit ovladač s integrovaným gyroskopem Wii Remote Plus. [25]



Obr. 2.9 Wii Remote vlevo, Nunchuck vpravo (převzato z [25])

V článku [26] je zmíněno, jak Wii Remote kreativně využít k produkci hudby. Tato práce se zaměřuje na studium gest ruky při dirigování a hraní na bicí. K měření je využito akcelerometr v ovladači s rozsahem ± 3 g. Na *Obr. 2.10* je znázorněno 6 stupňů volnosti: 3 lineární směry X, Y, Z a 3 úhly natočení pitch, roll, yaw. Při hraní na bicí je využito ovladače Nunchuck.

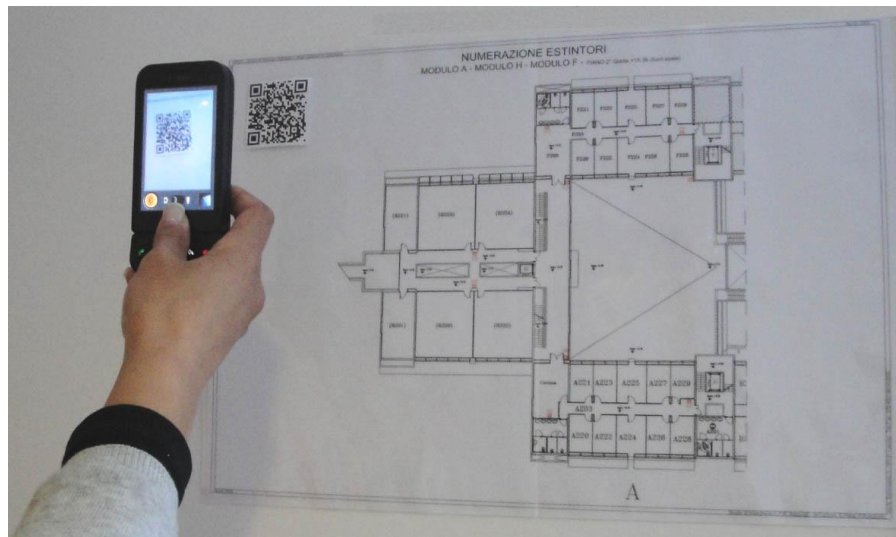


Obr. 2.10 Stupně volnosti v Wii Remote (převzato z [26])

2.4 Navigace

GPS moduly je možné použít pouze v neuzavřených prostorech. Využívají se například jako navigace v dopravě. Další využití naleznou například v oblasti sportu popsané v kapitole 2.2.

Pro vnitřní navigační systém lze použít akcelerometr a magnetometr. Tato kombinace je popsána v článku [27]. Jedná se o navigační systém založený na chytrém mobilním telefonu vybavený fotoaparátem, akcelerometrem a elektronickým kompasem (magnetometrem). Tato navigace může být použita například ve velkých obchodních domech. Článek popisuje prototyp aplikace, která naskenuje 2D čárový kód umístěný vedle mapy (Obr. 2.11).



Obr. 2.11 Vnitřní navigační systém využívající chytrý telefon (převzato z [27])

Na základě adresy zakódované v čárovém kódu je do mobilního telefonu stažena vektorová mapa a uložena referenční pozice telefonu. Z naměřených dat akcelerometru aplikace sleduje počet kroků a z magnetometru určuje orientaci uživatele. Krokoměř založený na akcelerometru byl testován několika muži a ženami s různými tělesnými vlastnostmi. Průměrná chyba při 20 měření a z průměrného počtu 40 kroků byla 3,8 %. Délka kroků je nastavena pevně pro každého uživatele a dochází pak k nárůstu chyby. Vylepšení programu by mohlo být odhadnutí délky kroku podle pravděpodobnostních algoritmů. [27]

3 Požadavky na detekci pohybu osob

Cílem této práce bylo navrhnout senzor detekující pohyb starších lidí. Senzor by měl být nositelné zařízení a schopné bezdrátové komunikace s terminálem, který v případě potřeby zavolá pomoc. Přístroj by měl být schopen detekovat nevyžádanou polohu osoby a vyhodnocovat pád.

Aby bylo možné detekovat pády, senzor musí být schopen vnímat pohyb a různé měřitelné vlastnosti spojené s pohybem. Použití tříosého akcelerometru získáme zrychlení podél třech souřadnicových os. V ose orientované k Zemskému povrchu udává akcelerometr zrychlení o velikosti 1 g. Úhlové zrychlení a orientaci senzoru je možné měřit pomocí tříosého gyroskopu. Při použití analogového akcelerometru nebo gyroskopu je nutné převodu na digitální signál prostřednictvím analogově digitálního (AD) převodníku. Digitální data jsou následně přepočtena podle nastaveného rozsahu a poté je možné vyhodnocovat algoritmy, které detekují orientaci, pád a pohybovou aktivitu.

V příloze A jsou uvedeny grafy tří pádů (*Obr. A.1*), chůze (*Obr. A.2*) a běhu (*Obr. A.3*). Grafy zobrazují závislost velikosti vektoru zrychlení na čase. Z naměřených dat vyplývá, že pro detekci pádu, chůze a běhu je zapotřebí akcelerometr s rozsahem minimálně ± 4 g. Klidový stav senzoru odpovídá zrychlení přibližně 1 g, chůzi do 2,5 g a běh 2,5 g a více. Velikost zrychlení pádu se pohybuje od 2 g a více. Detekce pádu pouze pomocí maximální hodnoty zrychlení a následného klidového stavu není možná, protože mohou vznikat chybné detekce při rychlejším pohybu a zastavení, jako je např. zmiňovaná chůze nebo běh. Pro eliminaci chybných detekcí, je možné vyhodnotit varování pádu až při změně orientace senzoru.

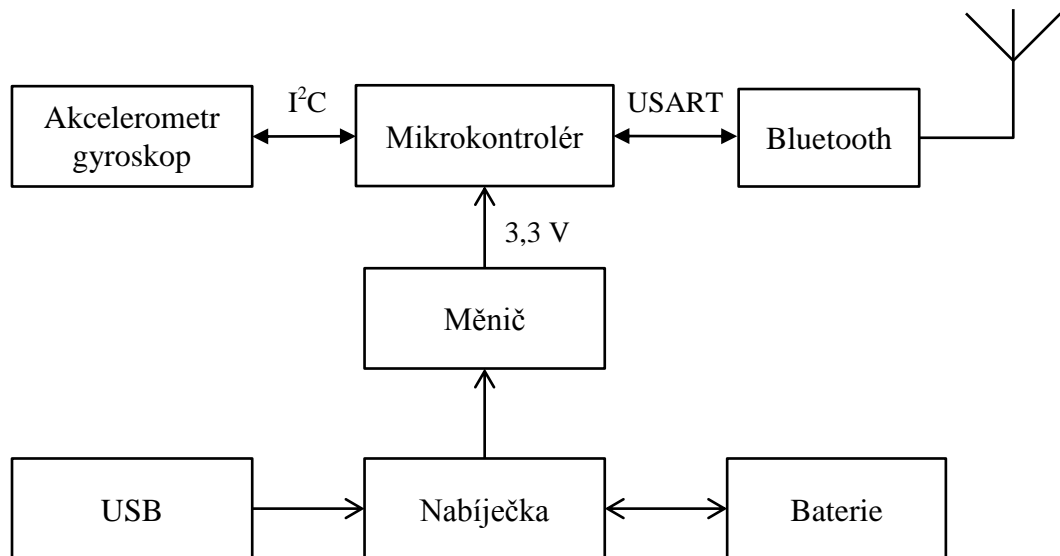
Tyto požadavky splňuje návrh modulu pro detekci osob popsáný v kapitole 4. Součástí modulu je tlačítko pro vyvolání a zrušení alarmu. Data z modulu jsou přenášena pomocí Bluetooth[®] zařízení např. do terminálu, který zavolá pomoc. Podle umístění senzoru na těle je možné určit polohu. Pokud je modul použit na hrudníku nebo na boku, je možné určit vodorovnou polohu (leží) nebo svislou (stojí nebo sedí). Ve vodorovné pozici lze určit, zda leží na břiše, zádech, pravém nebo levém boku. Pro rozeznání stání nebo sezení by bylo nejvhodnější použití na stehnu, ale pak by byla znemožněna detekce lehu. Při použití na ruce, není možné přesně určit polohu měřeného předmětu. V případě použití na hrudníku nebo ruce by mohl být modul vybaven senzorem tepové frekvence.

V 5. kapitole je popsán software vyhodnocující zmiňované aktivity, události a polohy s umístěním senzoru na pravém boku.

4 Návrh modulu pro detekci pohybu osob

Při návrhu jsem se zaměřil na nositelný bezdrátový modul s akcelerometrem a gyroskopem napájený baterií s možností nabíjení přes USB rozhraní. Vycházel jsem z dostupných moderních součástek, s co nejmenší spotřebou a velikostí.

Jako senzor pro detekci pohybu jsem zvolil MPU-6050 od výrobce InvenSense, který obsahuje digitální 3D akcelerometr, 3D gyroskop a DMP™ (Digital Motion Processor™). Řídícím prvkem modulu je mikrokontrolér STM32F051K8. Bezdrátovou komunikaci zajišťuje Bluetooth® modul RN41. Modul pro detekci pohybu osob je napájen Li-pol (Lithium-polymerovou) baterií, kterou lze nabíjet obvodem BQ24032A. Napájecí napětí je upraveno konvertorem TPS61201 na stabilní hodnotu 3,3 V. Blokové schéma modulu je znázorněno na *Obr. 4.1*.



Obr. 4.1 Blokové schéma návrhu modulu pro detekci pohybu osob

Senzor MPU-6050 komunikuje s mikrokontrolérem pomocí sběrnice I²C. Mikrokontrolér hraje v komunikaci roli master a senzor pohybu jako slave zařízení na sběrnici I²C. Bluetooth® modul je připojen k mikrokontroléru pomocí sériové komunikace UART.

4.1 Senzor pohybu

Pro univerzální použití byla do modulu použita kombinace gyroskopu a akcelerometru. Z dostupných součástek byl vybrán MEMS senzor MPU-6050, který obsahuje tříosý akcelerometr, tříosý gyroskop a teploměr. Součástí je také Digital Motion Processor™ (DMP), který umožňuje provádět složité výpočty mezi akcelerometrem a gyroskopem. Pokud

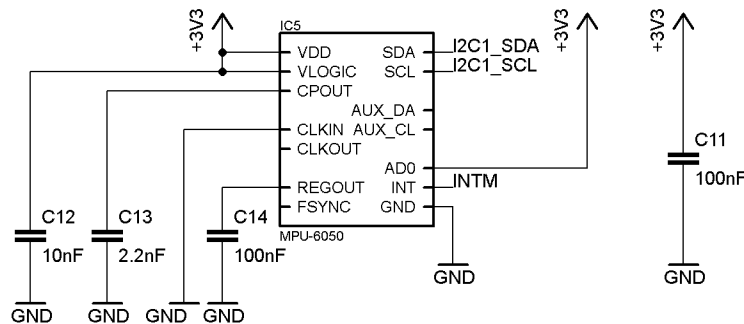
k senzoru připojíme přes I²C sběrnici tříosý magnetometr (Obr. 4.2), DMP dokáže zpracovávat devíti ose algoritmy. Integrovaný teploměr je spíše pro hrubé měření nebo pro teplotní kompenzaci, protože více než teplotu okolí udává teplotu čipu.

Pro sledování rychlých i pomalých pohybů lze u gyroskopu programově nastavit rozsah měření na ± 250 , ± 500 , ± 1000 a ± 2000 ° / sec a akcelerometr v rozsahu měření ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g, a ± 16 g. [28]



Obr. 4.2 Připojení senzoru MPU-6050 (převzato z [28])

Senzor pracuje v rozsahu napájecího napětí od 2,375 V do 3,46 V. Při normální provozu je odběr gyroskopu, akcelerometru a DMP 3,9 mA. V úsporném režimu při vzorkování 1,25 Hz je spotřeba 10 μ A a při frekvenci vzorkování 40 Hz je spotřeba 140 μ A. Kvůli malým rozměrům (pouzdro QFN 4 x 4 x 0,9 mm) a malé spotřebě, je senzor vhodný pro mobilní zařízení a nositelné senzory.

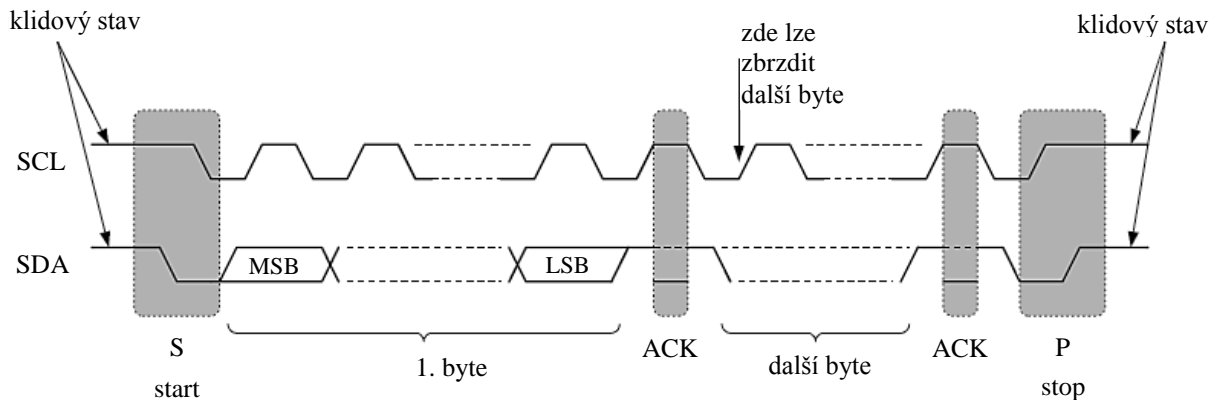


Obr. 4.3 Schéma zapojení MPU-6050

Na Obr. 4.3 je schéma senzoru MPU-6050, které vychází z doručeného zapojení. Napájení bylo zvoleno na 3,3 V. K mikrokontroléru je senzor připojen přes signály I2C1_SDA a I2C1_SCL, které slouží pro komunikace po sběrnici I²C. Další signál INTM je připojen k mikrokontroléru na port PA0. Jedná se o externí přerušení, které nastane v případě, že jsou data připravena k vyzvednutí mikrokontrolérem.

Sběrnice I²C rozděluje připojená zařízení na řídicí (master) a řízené (slave). Master zahajuje, ukončuje komunikaci a generuje hodinový signál (SCL). Všechna slave zařízení na sběrnici musí mít individuální adresu o délce 7 nebo 10 bitů. Při 7 bitové adrese umožňuje

I²C sběrnice obousměrnou komunikaci pomocí dvou vodičů. Jeden je tvořen hodinovým signálem SCL (Synchronous Clock), který vysílá master a druhý datový signál SDA (Synchronous Data). Oba signály musí být zapojeny jako otevřené kolektory a připojeny na pull-up rezistorem ke kladnému napětí, které zajistí vysokou úroveň v klidovém stavu. Maximální délka vodičů je dána jejich nevyšší přípustnou kapacitou 400 pF.



Obr. 4.4 Časový diagram komunikace po I²C (převzato z [29])

Na Obr. 4.4 je znázorněna komunikace po I²C sběrnici. Přenos je zahájen START bitem (S) kombinací doběžných hran – napřed SDA a následně SCL. Následně je vyslána 7 bitová adresa a bit označující čtení nebo zápis ze slave zařízení. Dalším odeslaným bitem je potvrzovací (ACK – acknowledge). Master zařízení nastaví SCL a SDA na vysokou úroveň a slave zařízení potvrdí přijetí zprávy nastavením SDA na dolní úroveň. Pokud nedojde k potvrzení příjmu, je vysílání ukončeno podmínkou STOP. Potvrzovací bit je odeslán pokaždé, kdy dojde odeslání jednoho byte (8 bitů).

Po odeslání adresy master zařízení a potvrzení slave zařízení přijetí, následuje odesílání dat mezi zařízeními. Data jsou přenášena po bytech, vždy od nejvýznamnějšího bitu (MSB - most significant bit) po nejméně významný bit (LSB - least significant bit). Počet přenesených bitů není omezen, konec nastane podmínkou STOP, po které následuje klidový stav na obou vodičích. Podmínka STOP nastane náběžnou hranou SCL a následně SDA. Vysílání lze kdykoliv pozastavit nastavením hodinového signálu SCL na dolní úroveň. Maximální frekvence signálu SCL je stanovena na 100 kHz nebo 400 kHz.

Sběrnice I²C neumožňuje duplexní přenos dat, v jednom okamžiku je možné vysílání pouze jednoho zařízení.

4.2 Komunikační rozhraní

Pro bezdrátovou komunikaci byl zvolen standard Bluetooth[®], který umožňuje sériový přenos dat. Dělení zařízení Bluetooth[®] podle výkonu je popsáno v *Tab. 4.1*.

Tab. 4.1 Dělení Bluetooth[®] zařízení podle výkonu[30]

CLASS	Dosah
Class 1	- 100 m
Class 2	- 10 m
Class 3	- 1 m

Pro největší dosah zařízení byl zvolen Bluetooth[®] modul RN41 Class 1 (*Obr. 4.5*). RN41 se vyrábí včetně antény, případně je dostupná verze bez antény s označením RN41N. Pro nositelné zařízení byl použit modul včetně integrované antény.



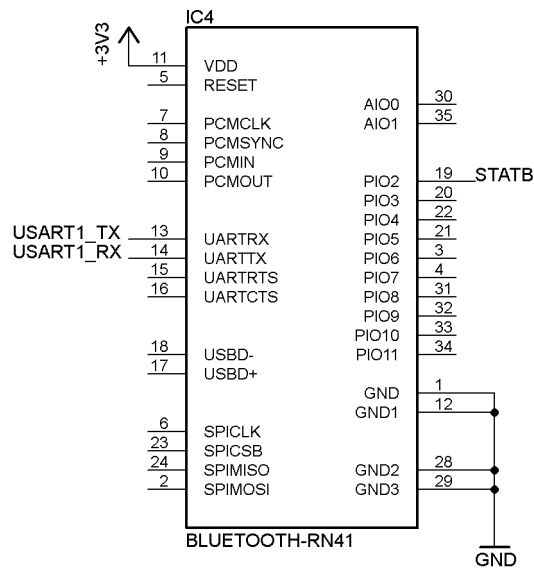
Obr. 4.5 Bluetooth[®] modul RN41 (převzato z [30])

RN41 modul je ve verzi Bluetooth[®] 2.1 s EDR (Enhanced Data Rate), který zlepšuje spárování zařízení a používá zvýšené bezpečnosti. Napájecí napětí může být v rozsahu od 3 V do 3,6 V. V *Tab. 4.2* jsou popsány využití pinů RN41 modulu.

Tab. 4.2 Popis využitých pinů RN41[30]

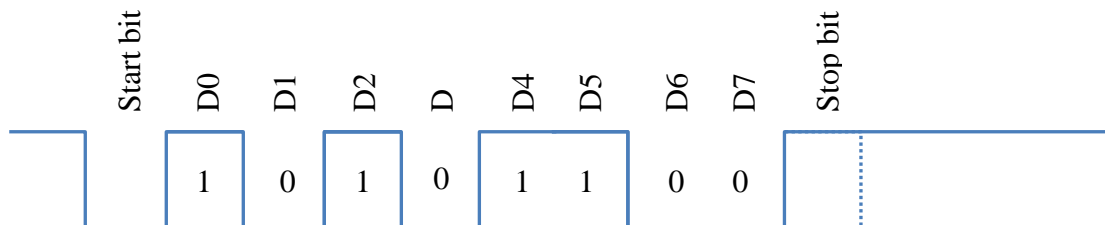
Pin	Název	Popis
1, 12, 28, 29	GND	Zem
11	VDD	3,3 V
13	UART_RX	UART příjem – vstup
14	UART_TX	UART vysílání – výstup
19	GPIO	Stav, log. 1 pokud je připojen, log. 0 nepřipojen

Na vstup mikrokontroléru je přiveden výstup z modulu GPIO2 (signál STATB na *Obr. 4.6*), který signalizuje stav připojení (log. 1 = připojen, log. 0 = odpojen). Komunikace probíhá asynchronně po USART rozhraní (Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter). Modul vysílá data na pinu UART_TX (transmit) a přijímá na pinu UART_RX (receive).



Obr. 4.6 Schéma zapojení RN41

Na Obr. 4.7 je ukázka 8-bitového asynchronního přenosu čísla 53 (binárně 0011 0101). Pokud neprobíhá přijímání ani vysílání, je klidová úroveň na sběrnici log. 1. Vysílání je zahájeno změnou hodnoty na logickou 0 (tzv. start bitem). Následuje přenos od nejnižšího bitu po nejvyšší. Přenos je ukončen stop bitem, který má logickou úroveň 1. Po odeslání stop bitu, je možné zahájit další přenos, který je na obrázku vyznačen tečkovaně.



Obr. 4.7 Asynchronní 8-bitový přenos

4.3 Mikrokontrolér

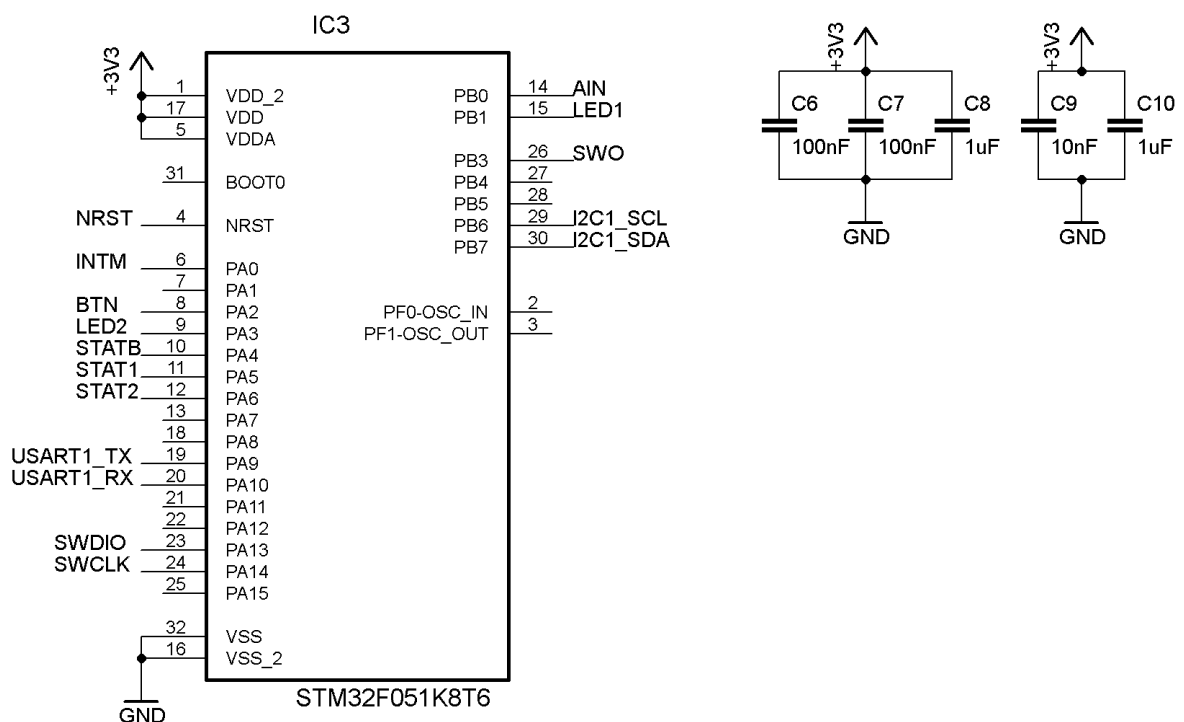
Z dostupných součástek byl vybrán mikrokontrolér STM32F051x, který má vysoce výkonné jádro ARM Cortex™-M0 32-bit RISC pracující až na frekvenci 48 MHz. Hlavním parametrem při výběru byla spotřeba, velikost, AD převodník, I²C a UART sběrnice.

Napájecí rozsah napětí je od 2 V do 3,6 V. Mikrokontrolér obsahuje interní oscilátor, 12 bitové A/D a D/A převodníky, až 12 časovačů, komunikační rozhraní UART, I²C a SPI.

Řada STM32F051x je vyráběna v několika provedení od 32 vývodů po 64 vývodů. Podle počtu vývodů jsou zahrnuté různé sady periférií s pouzdry LQFP, UFQFPN nebo UFBGA. Tato řada se vyrábí s flash pamětí od 16 kB po 63 kB a 8 kB paměti SDRAM.

Pro navrhovaný detektor pohybu byl dostatečný mikrokontrolér s 32 vývody a pouzdrém LQFP32. Při strojním osazování by bylo vhodnější použít mikrokontrolér s pouzdrém UFQFPN32. Pro univerzální použití byla velikost flash paměti zvolena na 64 kB. Těmto parametrům odpovídá mikrokontrolér s označením STM32F051K8T6.

Na Obr. 4.8 je znázorněno typické zapojení mikrokontroléru a připojené periférie k ostatním částem modulu. Mikrokontrolér je napájen napětím 3,3 V (VDD, VDD_2) a stejné napětí je přivedeno jako referenční napětí pro analogový převodník (VDDA). Analogovým převodníkem se měří velikost napětí na baterii (AIN). Senzor pohybu je připojen k mikrokontroléru na I²C směrnicí pomocí signálu I2C1_SCL a I2C1_SDA, dále signál přerušeni INTM. Tlačítko (signál BTN) je připojeno na vstup brány PA2. Signalizační led diody (LED1 a LED2) jsou na výstupu PA3 a PB1. Komunikaci s Bluetooth modulem zajišťuje sériové rozhraní UART na portu PA9 a PA10. Informace o stavu připojení modulu (BTN) je připojena na bránu PA4. Stav nabíjecího obvodu signalizuje STAV1 a STAV2, které jsou připojeny na PA5 a PA6. Veškeré signály jsou podrobněji popsány v následujících kapitolách. Výběr připojení jednotlivých rozhraní bylo provedeno podle dokumentace [31], kde jsou popsány funkce jednotlivých bran.



Obr. 4.8 Schéma zapojení mikrokontroléru

4.4 Napájení

Napájecí blok modulu pro detekci pohybu osob je složen z baterie, nabíjecího obvodu baterie a napájecího obvodu. Baterii v modulu je možno nabíjet přes USB rozhraní.

4.4.1 Baterie

Požadavkem na napájení byla nabíjecí jednočládková baterie. Zvolil jsem z dostupných baterií LP-443440-IS-3 o kapacitě 600 mAh a napětí 3,7 V. Kapacita baterie by měla být dostatečná na 24 hodin provozu. Základní parametry baterie jsou uvedeny v *Tab. 4.3* vycházející z dokumentace baterie [32]. Baterie obsahuje termistor, který má při 25°C odpor 10 k Ω (± 1).

Tab. 4.3 Základní parametry baterie LP-443440-IS-3[32]

Jmenovitá kapacita:	600 mAh (typická)
Jmenovité napětí:	3,7 V
Nabíjecí napětí:	4,20 \pm 0,05 V
Maximální nabíjecí proud:	560 mA
Minimální napětí:	2,75 V
Výška:	4,2 \pm 0,2 mm
Šířka:	34 \pm 1 mm
Délka:	41 \pm 1 mm
Hmotnost:	13 \pm 1 g

4.4.2 Nabíjecí obvod

Dle parametrů baterie z *Tab. 4.3* a požadavků na nabíjení přes USB rozhraní o napětí 5 V s maximálním proudem 500 mA byl vybrán obvod BQ24032A.

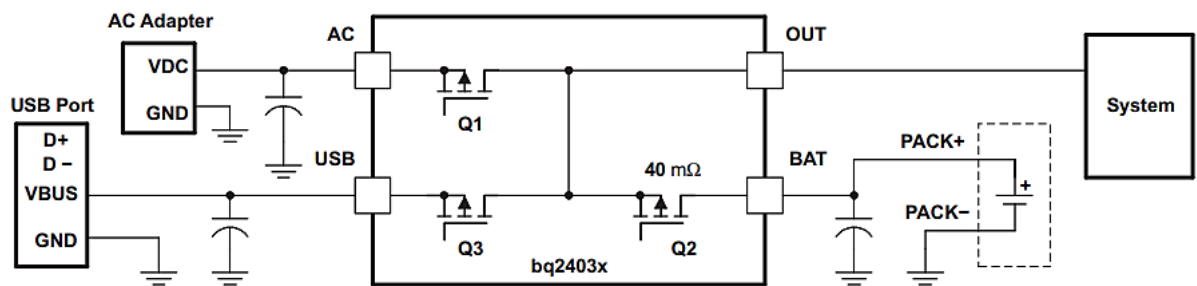
Integrovaný obvod BQ24032A od společnosti Texas Instruments lze nabíjení jednočládkové Li-Ion nebo Li-Pol baterie. Jedná se o lineární nabíječku se systémem řízení spotřeby energie určené pro přenosné aplikace. Základní parametry obvodu jsou uvedeny v *Tab. 4.4*.

Tab. 4.4 Základní parametry BQ24032A [33]

Nabíjecí napětí:	4,2 V
Maximální nabíjecí proud:	1,5 A
Maximální vstupní napětí:	16 V
Pouzdro:	20VQFN

Obvod může být napájen USB rozhraním nebo AC adaptérem. AC adaptér by mohl tvořit obvod pro bezdrátové nabíjení modulu. Výběr vstupního zdroje napětí je určen řídicím signálem PSEL, který řídí tranzistory Q1 a Q3 (*Obr. 4.9*). Pokud je vstupní napětí přítomno,

je přivedeno na výstup pro napájení systému a nabíjení baterie. V případě nepřítomnosti je na výstup přivedeno napětí z baterie.

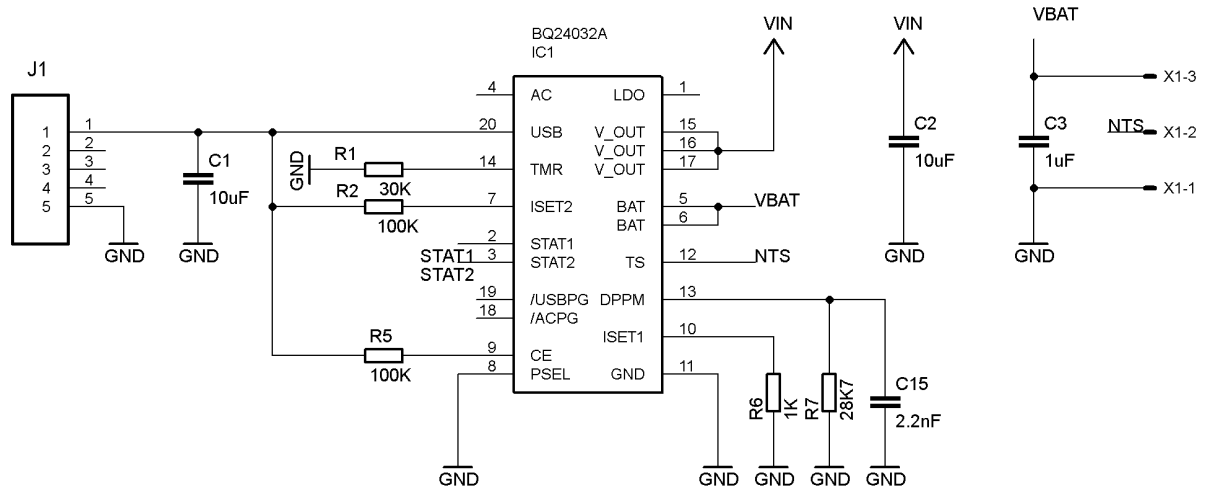


Obr. 4.9 Blokové schéma BQ24032A (převzato z [33])

Na Obr. 4.10 je navrhnuté schéma pro nabíjení baterie (vodič VBAT). Baterie je připojena pomocí tří pinového konektoru X1. Na vstup TS je přiveden termistor, který je součástí baterie. Schéma a hodnoty kondenzátorů vychází z doporučeného zapojení obvodu BQ24032A [32]. Popis vývodů obvodu je uvedený v následující Tab. 4.5.

Tab. 4.5 Popis vývodů obvodu BQ24032A [33]

Vývody		I/O	Popis
Název	Číslo		
AC	4	I	Vstup z AC adaptéru
ACPG	18	O	Správné napětí z AC adaptéru
BAT	5,6	I/O	Vstup a výstup do baterie
CE	9	I	Aktivace obvodu (log. 1 = aktivní)
DPPM	13	I	Nastavení dynamického řízení spotřeby
ISET1	10	I/O	Nastavení nabíjecího proudu při AC adaptéru
ISET2	7	I	Nastavení nabíjecího proudu při USB portu (log. 1 = 500 mA, log. 0 = 100 mA)
LDO	1	O	3,3 V LDO výstup
OUT	15, 16, 17	O	Výstup do systému
ACPG	18	O	Správné napětí AC nebo USB
PSEL	8	I	Výběr zdroje (log 0 = USB, log 1 = AC)
STAT1	2	O	Stav nabíjení 1
STAT2	3	O	Stav nabíjení 2
TMR	14	I/O	Časový program pro nabíjení
TS	12	I/O	Vstup termistoru baterie
USB	20	I	Vstup z USB
USBPG	19	O	Správné napětí na USB
VSS	11	-	Zem



Obr. 4.10 Návrh schématu zapojení BQ24032A

Pro aktivaci obvodu a nastavení maximálního nabíjecího proudu na 500 mA, je třeba nastavit na vstup CE a ISET2 logickou 1. Vstupní napětí USB (konektor J1) je nastaveno přivedením PSEL na logickou 0 (GND).

Integrovaný dynamický systém řízení spotřeby (DPPM) umožňuje snížit nabíjecí proud, aby nedošlo k poklesu výstupního napětí do systému. Nastavení DPPM je určeno velikostí rezistoru připojeného na vstup DPPM, který je možné určit z rovnice:

$$V_{(DPPM-REG)} = I_{(DPPM)} * R_{(DPPM)} * SF \quad (4.1)$$

Hranice napětí je stanovena na $V_{(DPPM-REG)} = 3,3$ V. $I_{(DPPM)} = 100$ μ A a $SF = 1,15$ jsou uvedeny v dokumentaci jako typické hodnoty. Výsledná a použitá hodnota rezistoru $R_{(DPPM)}$ je po dosazení 28,7 k Ω . Rezistor $R_{(TMR)}$ připojený mezi VSS a vstup TMR je možné nastavit dobu nabíjení z rovnice:

$$t_{(CHG)} = K_{(TMR)} * R_{(TMR)} \quad (4.2)$$

Doba při rychlém nabíjení baterie $t_{(CHG)} = 3$ h. Po dosazení $K_{(TMR)} = 0,36$ [X] je výsledná a použitá hodnota rezistoru $R_{(TMR)} = 30$ k Ω .

Výstupní stavové signály 1 a 2 jsou nastaveny podle Tab. 4.6, které jsou přivedeny na vstupy mikrokontroléru (STAT1 a STAT2 na Obr. 4.10).

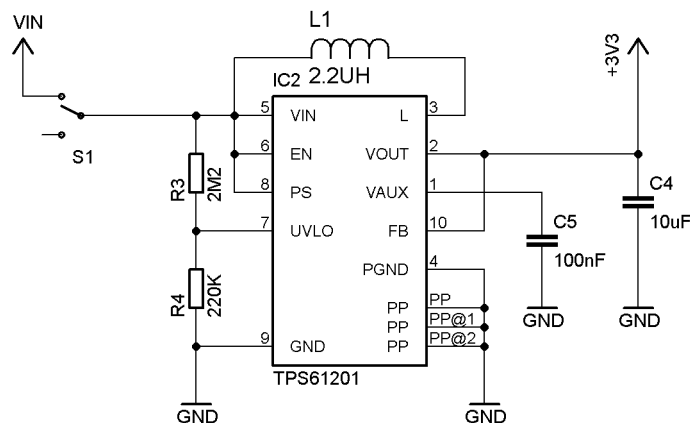
Tab. 4.6 Výstupní stavy nabíjení BQ24032A [33]

Popis	STAV1	STAV2
Předběžné nabíjení	1	1
Rychlé nabíjení	1	0
Nabíjení dokončeno	0	1
Nabíjení pozastaveno, porucha, režim spánku	0	0

4.4.3 Napájecí obvod

Senzor MPU-6050 je možné napájet v rozsahu 2,375 - 3,46 V, Bluetooth® modul 3 - 3,3 V a mikrokontrolér 2 - 3,6 V. Z uvedených napěťových rozsahů bylo zvoleno jednotné napětí 3,3 V. Pro udržení konstantního napětí je třeba kombinace step-up a step-down měniče, protože napětí z výstupu obvodu BQ24032A se může pohybovat pod i nad hranici 3,3 V.

Tyto požadavky splňuje obvod TPS61201, který je určen pro napájení obvodů z baterie. Pro udržení výstupního napětí 3,3 V musí být vstupní napětí v rozsahu 0,3 - 5,5 V. Účinnost při výstupním proudu 300 mA je více než 90 %. Při nízkých proudech zátěže přechází do úsporného režimu a udržuje tak vysokou účinnost obvodu. Na Obr. 4.11 je zobrazen návrh zapojení napájecího obvodu podle doporučeného zapojení z dokumentace [34]. Napětí VIN je výstupem z BQ24032A oddělen mechanickým vypínačem. Výstupní napětí z měniče je označeno +3V3.



Obr. 4.11 Návrh schématu zapojení TPS61201

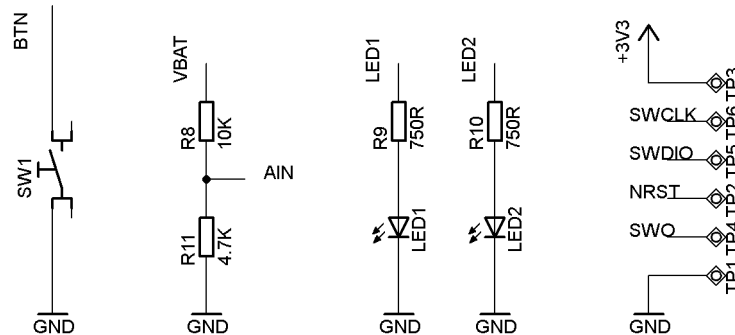
Obvod má ochranu proti zkratu a přehřátí. Další důležitou vlastností je automatické odpojení od zátěže při dosažení minimální napětí na baterii. Velikost minimálního napětí baterie je nastaveno rezistory R_3 a R_4 . Doporučená hodnota R_4 je 220 k Ω a velikost rezistoru R_2 lze vypočítat z rovnice 4.3.

$$R_3 = R_4 * \left(\frac{V_{INMIN}}{V_{UVLO}} - 1 \right) \quad (4.3)$$

Velikost V_{UVLO} obvodu je 0,25 V a minimální napětí na baterii $V_{INMIN} = 2,75$ V. Po dosazení do rovnice odpovídá velikost rezistoru $R_3 = 2,5$ M Ω . Ochrana podpětí má velkou hysterezi, aby nedocházelo ke kmitání obvodu. Minimální velikost napětí UVLO pro zapnutí je 0,35 V. Hodnota rezistoru R_4 byla zvolena 220 k Ω a pro rezistor R_2 hodnota 2,5 M Ω .

4.5 Schéma zapojení

Celkové schéma zapojení uvedené v příloze (*Obr. C.1*) se skládá z jednotlivých modulů popsaných v předešlých kapitolách a rozhraní na *Obr. 4.12*.



Obr. 4.12 Rozhraní modulu

Na digitální vstup mikrokontroléru PA2 je připojeno tlačítko, které může sloužit k vyvolání SOS poplachu do terminálu. Dále jsou připojeny na výstupy PB1 a PA3 signalizační led diody informující o stavu detektoru.

Velikost napětí na baterii je měřeno analogovým vstupem na mikrokontroléru, který je dimenzován na maximální napětí 3,6 V. Vstupní napětí bylo třeba upravit napěťovým děličem (rezistory R8 a R11). Velikost výsledného napětí lze odvodit z následující rovnice:

$$U_{OUT} = \frac{R_2}{(R_2 + R_1)} * U_{IN} \quad (4.4)$$

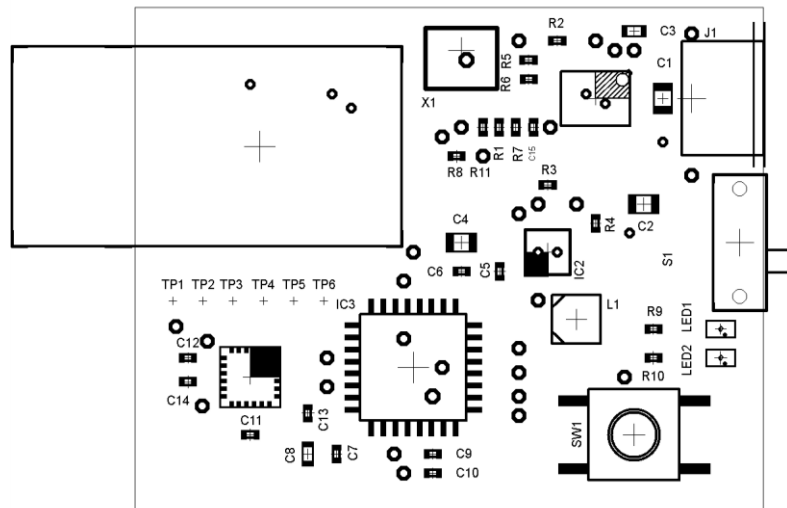
$$U_{OUT} = \frac{4,7}{(4,7 + 10)} * U_{IN} = 0,3197 * U_{IN}$$

Na *Obr. 4.12* vpravo jsou testovací pady TP1 – TP6, které slouží k programování a debugování mikrokontroléru.

4.6 Návrh plošného spoje

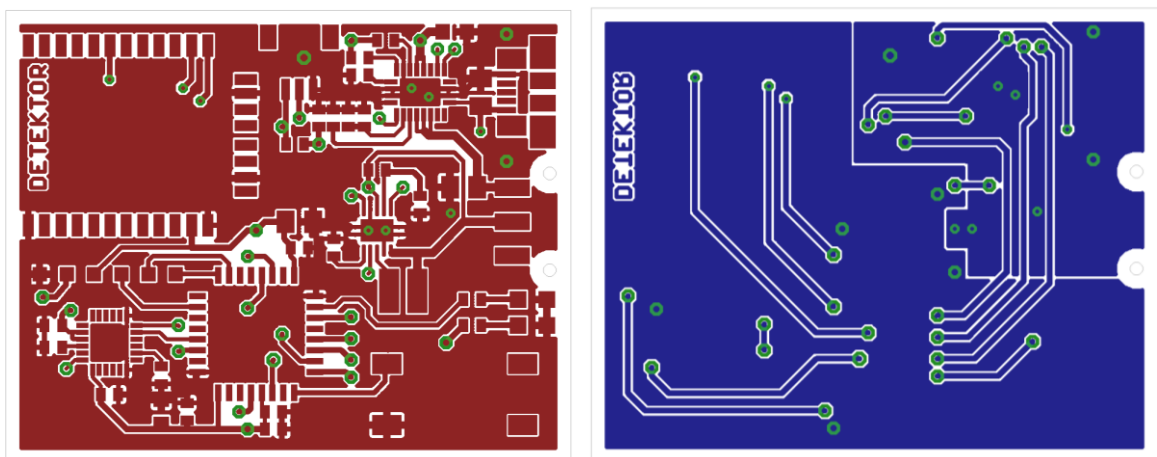
Návrh desky plošného spoje, dále jen DPS, byl vytvořen v programu EAGLE 6.5.0 s FREE licencí. Jednotlivé součástky byly vybrány podle dostupnosti a velikosti pro možné ruční pájení. Dalším kritériem výběru byly součástky pro povrchovou montáž s osazením na jedné straně. Kondenzátory a rezistory byly zvoleny s nejmenším pouzdem 0402. Velikost DPS byla navrhována na stejnou velikost jako baterie, aby bylo možné přiložení baterie na spodní stranu DPS. Při strojním osazení součástek by bylo možné použít mikroprocesor s pouzdem UFQFPN32 a zmenšit velikost mezer mezi součástky. Při jednostranném osazení součástek by velikost DPS mohla být 41 x 24 mm.

Na Obr. 4.13 je znázorněn osazovací výkres DPS. Vlevo nahoře se nachází Bluetooth[®] modul, který přesahuje anténní část plošného spoje. Vpravo nahoře je umístěn konektor mikro USB pro nabíjení baterie a pod ním se nachází vypínač modulu. V Tab. B.1 uvedené v příloze B je uveden seznam použitých součástek.



Obr. 4.13 Osazovací výkres strana TOP, v měřítku 2:1

Na Obr. 4.14 vlevo je návrh DPS vrchní strany (TOP) a na obrázku vpravo se nachází spodní strana (BOTTOM). Na vrchní straně je rozlita měď s potenciálem země. Spodní strana je rozdělena podle napěťových úrovní: vpravo, kde se objevuje napětí na baterii a nabíjecí napětí z USB má potenciál země a zbylá část je připojena na kladné napětí 3,3 V.



Obr. 4.14 DPS strana TOP (vlevo) a BOTTOM (vpravo), v měřítku 18:10

Šířka vodivých cest byla zvolena převážně na 0,4 mm. Od plošek integrovaných obvodu bylo nutné použít šířku 0,27 mm, aby byla zachována minimální šířka izolačních mezer 150 μm . Návrh plošného spoje o velikosti 4,1 x 3,3 mm uveden v příloze C.

5 Software

Tato kapitola popisuje software pro detektor pohybu popisovaný kapitole 3 a 4. Jedná se o program mikrokontroléru psaný v jazyce C ve vývojovém prostředí μ Vision. Kompletní zdrojové kódy jsou uvedeny v příloze D. V programu jsou využity knihovny periférií mikrokontroléru a knihovny pro práci se senzorem MPU-6050.

5.1 Inicializace

Při spuštění programu je nejprve provedena inicializace vnitřních systémových hodin, které vyvolají přerušení každou 1 ms. Toto přerušení se využívá pro zjištění aktuálního času, dekrementace hodnoty při čekání a spouštění pravidelných funkcí.

Následně je provedena inicializace všech vstupních a výstupních bran, které jsou popsány v kapitole 4. Ke každému vstupu je přiřazeno přerušení programu a při každé změně na vstupu je vykonán podprogram přerušení. V podprogramech je řešena změna stavu nabíjení, připojení Bluetooth[®], délka stisknutí tlačítka, zpracování příkazu přes sériovou linku a načtení dat z MPU-6050.

V senzor pohybu MPU-6050 je aktivován akcelerometr, gyroskop a DMP. Pro akcelerometr byl nastaven rozsah ± 8 g a pro gyroskop výchozí nastavení $\pm 2\,000$ °/s. DMP vyvolá přerušení pokaždé, když budou k dispozici nová data. K tomu bylo zapotřebí nastavit frekvenci pro výběr dat z buffru na 5 Hz. Další aktivovanou vlastností DMP byla kalibrace gyroskopu, která je provedena po 8 s nečinnosti.

Aby bylo zabráněno k zaseknutí programu, je aktivován watch dog s časem 5 s. Při každém vykonaném cyklu je nutné watch dog obnovit, jinak dojde k automatickému restartování mikrokontroléru. Hranice 5 s může být snížena, pokud nebude zapotřebí spouštět testování senzoru pohybu.

5.2 Detekce pohybu

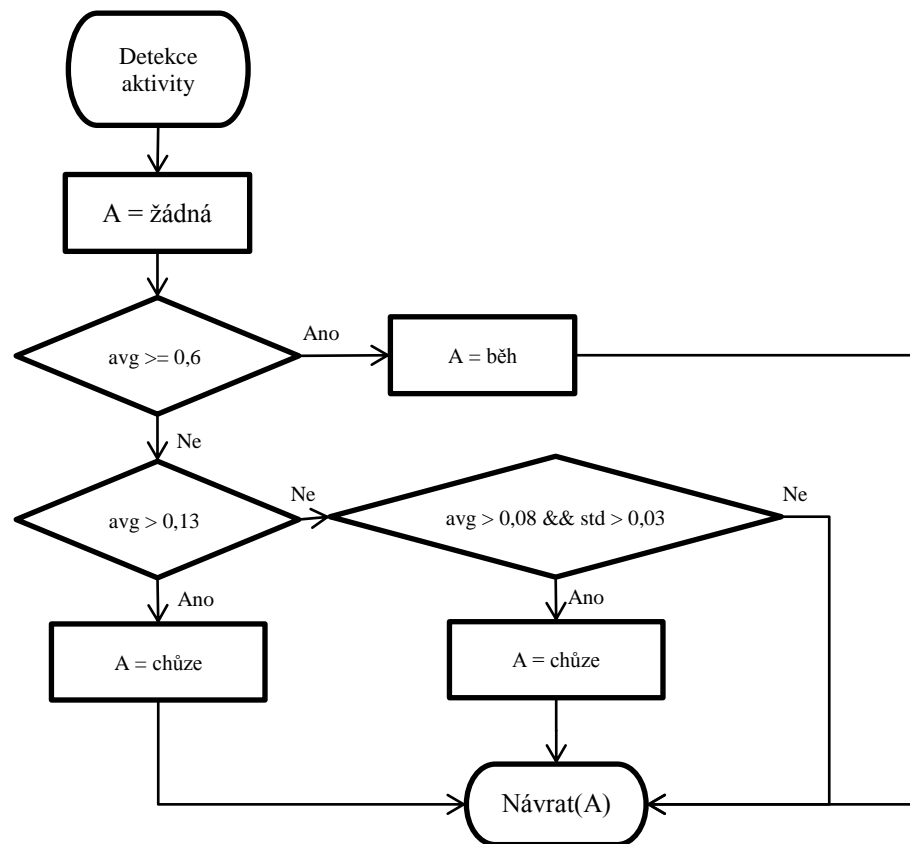
Procesor v MPU-6050 zpracuje naměřená data z akcelerometru a gyroskopu a následně vyvolá přerušení. Ke zpracování dat využívá implementované matematické funkce pro výpočet orientace v 3D prostoru. Po přerušení jsou data načtena funkcí *dmp_read_fifo*, která vrací přepočtenou hodnotu gyroskopu, akcelerometru a kvaternionu.

Z kvaternionu je možné určit velikost gravitace (funkcí *getGravity*) a tu následně odečíst od velikosti zrychlení naměřeného akcelerometrem. Pro výpočet Eulerových úhlů Yaw, Pitch, Roll byla použita funkce *getYawPitchRoll* s parametry kvaternionu a gravitace.

Přepočtená data jsou předána do vytvořené knihovny `motionDetection.c` funkcí `md_add_sample`. V této funkci se data ukládají do kruhového buffru a jsou volány následující algoritmy pro detekci pohybu.

- **Detekce aktivity**

Detekce aktivity je určena na základě aritmetického průměru velikosti vektoru zrychlení (*avg*) a směrodatné odchylky (*std*). Limity pro algoritmus na *Obr. 5.1* byly stanoveny měřením, aby byly pokryty všechny rozsahy hodnot pro aktivitu odpovídající klidu, chůzi a běhu.



Obr. 5.1 Vývojový diagram detekce aktivity

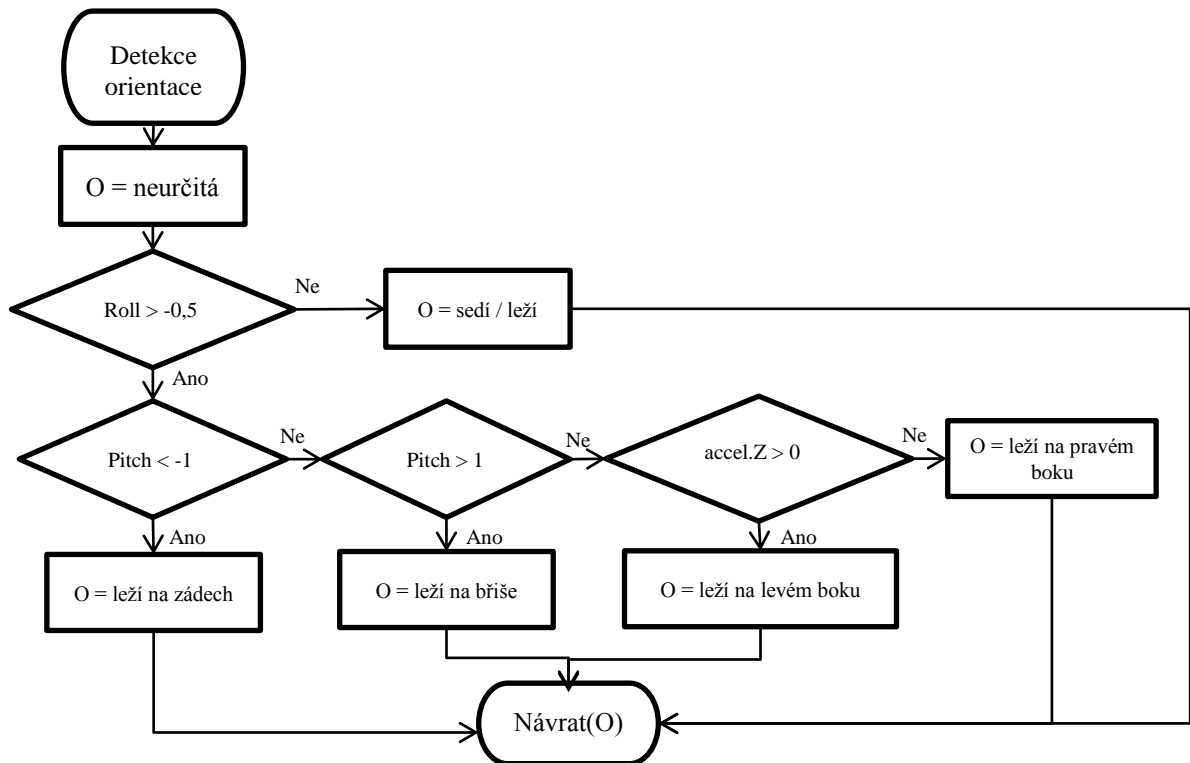
- **Detekce pádu**

Pro vyhodnocení detekce pádu předchází vyhodnocení potenciálního pádu, který nastane překročením limitu pro pád. Limit byl nastaven na hodnotu 1 g (bez gravitace), který vychází z grafu *Obr. A.1*.

Po vyhodnocení potenciálního pádu a klidové aktivity je provedena kontrola změny orientace. Pokud nastala změna orientace, je odeslána zpráva informující o stavu pádu. Pokud klidová poloha nenastane do 15 s nebo nedojde ke změně orientace, stav potenciálního pádu je zrušen. Změny stavu jsou automaticky odesílány zprávami, uvedené v *Tab. 5.1*.

- **Detekce orientace**

Detekce orientace využívá vypočtené Eulerovy úhly (*Yaw, Pitch, Roll*), které udávají náklon vzhledem k jiné soustavě. Dalším parametrem je *accel.Z*, který představuje velikost zrychlení změřeného akcelerometrem v ose Z. Následující algoritmus na *Obr. 5.2* vyhodnocuje polohu měřeného předmětu v případě umístění senzoru na pravém boku.



Obr. 5.2 Vývojový diagram detekce orientace

Návratová hodnota orientace je porovnána s předchozí polohou, a pokud je v této poloze déle jak 2 s, tak je odeslána zpráva se změnou orientace uvedené v *Tab. 5.1*.

Tab. 5.1 Zprávy při změně pohybu

Zpráva	Popis
O<stav>	Orientace: 0 – neurčitá 1 – stání nebo sezení 2 – ležení na zádech 3 – ležení na břiše 4 – ležení na levém boku 5 – ležení na pravém boku
A<stav>	Aktivita: 0 – žádná 1 – chůze 2 – běh
F<stav>	Pád: 0 – žádný (nenastal nebo zrušen) 1 – potencionální pád při překročení limitu 2 – pád (v klidu a změna orientace)

5.3 Signalizace

Detektor pohybu obsahuje červenou (LED1) a žlutou (LED2) led diodu. Přerušované blikání červené led diody signalizuje nízký stav baterie pod 3,71 V, které odpovídá přibližně 10 % kapacity. Určení napětí pro kapacitu 10 % baterie bylo provedeno z měření na *Obr. E.1*. Automatické zprávy jsou odeslány pro kapacity baterie 100 %, 70 %, 40 % a 10 %. Trvalé rozsvícení LED2 signalizuje nabíjení baterie a trvalé svícení LED1 nabití baterie. Blikání LED2 v intervalu 100 ms je signalizováno odpojení detektoru od terminálu, v opačném případě LED2 blikne každé 2 s. Vypnuté LED1 a LED2 signalizuje vypnutý stav modulu.

5.4 Komunikace

Komunikace probíhá příkazy přes sériové rozhraní Bluetooth[®]. Seznam příkazů a odpovědí je zobrazen v následující tabulce *Tab. 5.2*. Pokud není příkaz nalezen, je odeslána odpověď *NOCMD*. Pro příkazy, které mění nastavení detektoru je hodnota odpovědi *OK* a v případě chyby *ERROR*. Každý přijatý a odeslaný příkaz je oddělený znakem $\backslash n$, představující konec řádku.

Tab. 5.2 Komunikace s detektorem pohybu

Příkaz	Odpověď	Popis
B	V<napětí>;<%>	Napětí baterie ve voltech s desetinnou tečkou, kapacita baterie po 30%
C	C<stav >	Stav nabíjení: C0 – vypnuto C1 – dokončeno C2 – rychlé nabíjení C3 – předběžné nabíjení
P	P<počet>;<délka>	Krokoměr počet – udává počet kroků délka – délka chůze v milisekundách
R	-	Resetování stavu krokoměru
T	T<teplota>	Teplota na MPU-6050 v °C
TEST	R<stav>	Spustí test akcelerometru, gyroskopu a magnetometru (není využit) stav – představuje binární hodnotu splněného testu akcelerometru, gyroskopu: R7 = 111b = (magnetometer prošel)(akcelerometer prošel)(gyroskop prošel)
DM	-	Zapne nebo vypne odesílání hodnot z MPU-6050 ve formátu: \$<x>;<y>;<z> – hodnoty akcelerometru Y<yaw>;<pitch>;<roll> – Eulerovy úhly
DA	-	Zapne nebo vypne odesílání hodnot pro ladění detekce aktivity S<průměrná hodnota zrychlení>;<střední odchylka zrychlení>
DB	-	Zapne nebo vypne automatické odesílání po 2 s stav baterie
+	-	Zobrazení odesílaných zpráv (aktivace / deaktivace)

Pokud dojde ke změně stavu nabíjení je automaticky odeslána odpověď typu C<stav>, která je uvedena v předchozí tabulce. Při stisknutí tlačítka je odeslána zpráva B1 pro krátký stisk a B2 pro stisk delší jak 500 ms. Další automatické zprávy při změně pohybu byly popsány v tabulce *Tab. 5.1*.

- **Nastavení Bluetooth® modulu**

Bezdrátový modul Bluetooth je možné konfigurovat samostatně přes sériovou linku. Spuštění konfiguračního módu je proveden příkazem \$\$\$\$. Odesláním --- je konfigurační mód zastaven a může probíhat komunikace s detektorem pohybu. Základní přehled konfiguračních příkazů je uvedený v Tab. 5.3. Kompletní programový manuál je k dispozici u výrobce Microchip. [30]

Tab. 5.3 Konfigurační příkazy RN-41 [30]

Příkaz	Popis	Výchozí hodnota
SM,<hodnota>	Nastavení módu: 0 – slave mód 1 – master mód 2 – Trigger mód 3 – Automatické spojení v master módu 4 – Automatické spojení v DRT módu 5 – Automatické spojení v žádném módu	4
SF,1	Nastavení do továrního nastavení	-
SN,<hodnota>	Nastavení jména zařízení	-
SP,<hodnota>	Nastavení pinu při párování	1234
SU,<hodnota>	Změna nastavení rychlosti spojení: 1200; 2400; 4800; 9600; 19,2; 28,8; 38,4; 57,6; 115K; 230K; 460K; nebo 921K	115 200
SW,<hodnota>	Nastavení sniff módu pro snížení spotřeby. Data jsou odesílána se zpožděním: 0x0000 = 0 ms 0x0020 = 20 ms 0x0050 = 50 ms 0x00A0 = 100 ms 0x0320 = 500 ms 0x0640 = 1 s	0
D	Zobrazí základní konfiguraci	-
E	Zobrazí rozšířenou konfiguraci	
GB	Zobrazení adresy zařízení	
+	Zobrazení odesílaných zpráv (aktivace/deaktivace)	vypnuté

Pro komunikaci se využívá výchozí nastavení (Obr. 5.3) s přenosovou rychlostí 115 200 bit/s.

Bity za sekundu: 115200
 Datové bity: 8
 Parita: Žádná
 Stop-bity: 1
 Řízení toku: Žádné

Obr. 5.3 Nastavení sériového portu

6 Realizace a vyhodnocení

Detektor pohybu osob byl realizován podle návrhu popsán v kapitole 4. Software programu popsán v kapitole 5 byl nahrán pomocí programátoru ST-Link. Programátor je připojen k testovacím padům TP1 - TP6 popisované v kapitole 4.3. Na *Obr. 6.1* se nachází fotografie detektoru pohybu, vpravo je ukázka orientace použití na pravém boku s orientací Bluetooth[®] nahoru.



Obr. 6.1 Detektor pohybu osob (vlevo v měřítku 8:5)

Při návrhu realizovaného prototypu bylo vynecháno u MPU-6050 připojení VLOGIC a AD0 ke kladnému napětí 3,3 V. Dále k rezistoru R7 bylo nutné přiřadit paralelně kondenzátor C15 o kapacitě 2,2 nF. Tato kombinace zajistí zpoždění kontroly DPPM, která při připojení baterie neodpojí výstupní napětí obvodu BQ24032A. Dalším řešením by bylo zmenšení rezistoru R7 a vyřazení DPPM. DPPM není bezpodmínečně nutné s kombinací TPS61201, protože má pracovní napětí od 0,3 V. Tyto úpravy byly zařazeny do návrhu popisované v kapitole 4.

Pro vyhodnocení dat ze senzoru byl vytvořen program v LabView 2013. Na *Obr. F.1* v příloze je zobrazena část programu, která zobrazuje stavy detektoru a vykresluje data do grafů. Součástí programu je také ladící část zobrazující Eulerovy úhly, zrychlení, velikost průměrného zrychlení a směrodatnou odchylku. V příloze F se nachází program v LabView, který potřebuje ovladače pro sériovou komunikaci (NI-VISA drivers).

Modul detektoru má přibližně celkový odběr 40 mA. Pokud není využíván ladící program, je možné nastavit pro Bluetooth[®] *sniff mód*, při kterém klesne odběr modulu přibližně na 11 mA. V tomto módu jsou odesílány zprávy se zpožděním až 1 s. Testováno bylo také usnutí mikrokontroléru a senzoru při nečinnosti s přibližným odběrem 3 mA. Tento odběr tvoří připojené Bluetooth[®] k terminálu.

Závěr

V první části diplomové práce jsou shrnuty dostupné metody pro detekci pohybu osob. Práce byla převážně zaměřena na akcelerometry, gyroskopy a magnetometry. Akcelerometry například umožňují měřit zrychlení, náklon, gravitaci a detekci kolize. Gyroskopy je možné měřit úhlovou rychlost, tzn. rotaci kolem měřených os. Magnetometry lze měřit orientaci vzhledem k magnetickému poli Země.

Druhá teoretická část se zabývá příklady použití detekce pohybu osob převážně pomocí akcelerometrů, gyroskopů, magnetometrů a GPS. Uplatnění naleznou většinou v medicíně a sportovních zařízeních. V medicíně umožňuje sledovat aktivitu osob, jako je například třes, nesprávné držení těla a srdeční funkci. Při sportu je měřen energetický výdej, počet kroků a zaznamenávání trasy. V neposlední řadě najdeme uplatnění u herních ovladačů, navigací a jiných výrobků spotřební elektroniky.

Praktická část práce se zabývá detektorem pohybu osob pro starší populaci lidí, u kterých mohou pády způsobit vážné zdravotní problémy jako zlomeniny či bezvědomí. V tomto případě si nejsou schopni zavolat sami pomoc a mohou být objeveni až za několik dní. Požadavky na takový detektor je akcelerometr s rozlišením ± 2 g a více. V případě použití detektoru na vyhodnocení běhu je zapotřebí akcelerometr s rozlišením ± 4 g. Pro vyhodnocení falešných pádu je vhodné doplnit gyroskopem, pomocí kterého je měřena změna orientace. Dalším požadavkem je signalizace, která přivolá zraněnému pomoc. Signalizace může být řešena bezdrátovým spojením s terminálem nebo přímo s GSM bránou, která upozorní příbuzného, kamaráda či ošetřovatele.

Navrhnutý a realizovaný modul je nositelné zařízení s 3D akcelerometrem a 3D gyroskopem. Jako nositelné zařízení obsahuje baterii Li-pol a nabíjecí část pomocí USB. Odesílání stavu do terminálu, který vyhodnocuje stavy detekce, je realizováno bezdrátovou komunikací Bluetooth[®]. Součástí modulu je tlačítko pro přivolání, případně zrušení pomoci. Tento modul splňuje zmiňované požadavky na detekci pohybu starších osob a je možné jej využít také jako univerzální bezdrátový senzor s akcelerometrem a gyroskopem.

Software navržený pro detektor pohybu osob vyhodnocuje pomocí algoritmů pohybovou aktivitu měřeného předmětu, která odpovídá úrovni chůze, běhu a klidu. Dalším vyhodnocením tvoří orientace, která vychází z umístění detektoru na pravém boku. Pak je možné detektovat stání či sezení, leh na zádech, břiše, levém nebo pravém boku. Součástí senzoru pohybu je krokoměr, který počítá počet kroků a dobu chůze. Nejdůležitější funkce je detekce pádu, který je vyhodnocen při zrychlení větší jak 1 g. Potlačení falešných pádu je

řešeno detekcí klidové aktivity a změny orientace. V tomto případě je odeslán stav upozorňující pád. Zrušení alarmu pádu je možné tlačítkem na modulu. Držením tlačítka může přivolat pomoc i v případě, že nebyl pád detekován.

Pro vyhodnocení stavu byl vytvořen program v LabView, který signalizuje potenciální a skutečné pády, pohybovou aktivitu a orientaci. Ve vizualizačním programu je možné načtení dat krokoměru, napětí na baterii, teploty na senzoru a spuštění testu akcelerometru a gyroskopu.

Měření pádů bylo nejprve provedeno na limit 1,5 g. V tomto případě nebyly rozpoznány menší pády. Následující testování s limitem 1 g bylo provedeno úspěšně pro pády vzad, vpřed a na bok. Pro použití detektoru v praxi, by bylo nutné provést měření přímo na starší populaci a přizpůsobit detektor terminálu, s kterým bude komunikovat.

Vylepšením modulu by mohlo být doplněním zvukové signalizace, která by uživatele upozornila před voláním pomoci. Pokud by nepotřeboval externí pomoc, zrušil by alarm tlačítkem na senzoru. V této verzi může být zvuková signalizace realizována v terminálu. Dalším upozorněním by mohl být například nebezpečný náklon, ohrožující sledovanou osobu pádem.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] VOJÁČEK, Antonín. *Akcelerometry - integrované snímače od AD*. [online]. [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005020601>
- [2] HUSÁK, Miroslav. 8. *Akcelerometry*. [online]. [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>
- [3] VODIČKA, Antonín. *Principy akcelerometrů - 1. díl - Piezoelektrické*. [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>
- [4] JURÁNEK, Martin. *Prostředky automatického řízení*. [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~jur286/prostredky_aut_rizeni/preklad.htm
- [5] BURG, Aaron, Azeem MERUANI, Bob SANDHEINRICH a Michael WICKMANN. *MEMS gyroscopes and their applications*. [online]. [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: <http://clifton.mech.northwestern.edu/~me381/project/done/Gyroscope.pdf>
- [6] LUCASVB. *3D Gyroscope-no text*. [online]. [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_Gyroscope-no_text.png
- [7] *Gyroscopes: A Technical Description and Guide*. [online]. [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: <http://www.personal.psu.edu/jps5040/blogs/202c/Gyroscopes.pdf>
- [8] SOLIDSTATE TECHNOLOGY. *Introduction to MEMS gyroscopes*. [online]. [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: <http://electroiq.com/blog/2010/11/introduction-to-mems-gyroscopes/>
- [9] D. Skula: *Základní prvky konstrukce elektronického kompasu*. *elektrorevue*, [online]. [cit. 2013-12-14]. Dostupné z: <http://elektrorevue.cz/cz/clanky/ostatni-1/25/zakladni-prvky-konstrukce-elektronickeho-kompasu-2/>
- [10] GENERAL INFORMATION ON GPS. U.S. COAST GUARD NAVIGATION CENTER. NAVIGATION CENTER [online]. [cit. 2013-12-14]. Dostupné z: <http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=GPSmain>
- [11] NATIONAL COORDINATION OFFICE FOR SPACE-BASED POSITIONING, Space Segment. Gps: Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics [online]. [cit. 2013-12-14]. Dostupné z: <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>

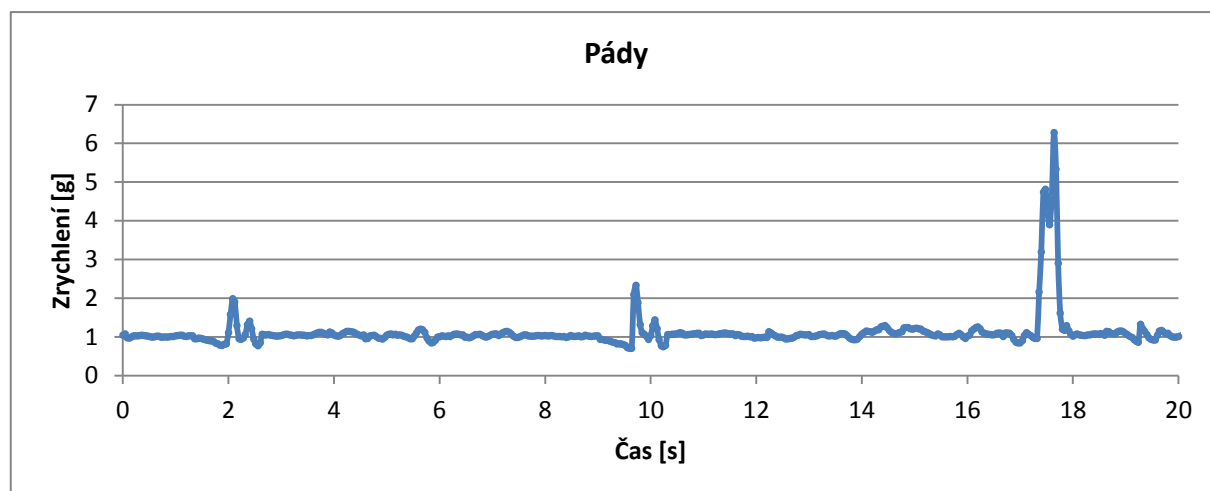
- [12] OUCHI, Kazushige a Miwako DOI. Smartphone-based monitoring system for activities of daily living for elderly people and their relatives etc. *Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication - UbiComp '13 Adjunct* [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 2013, s. 103-106 [cit. 2014-04-14]. DOI: 10.1145/2494091.2494120. Dostupné z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2494091.2494120>
- [13] HOFF, Lars, Kristin IMENES, Lars A. FLEISCHER, Per Steinar HALVORSEN, Andreas ESPINOZA, Espen W. REMME, Ole Jakob ELLE a Erik FOSSE. Microsensors for continuous monitoring of heart function. *Proceedings of the Fifth International Conference on Body Area Networks - BodyNets '10* [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 2010, s. 117- [cit. 2014-04-14]. DOI: 10.1145/2221924.2221948. Dostupné z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2494091.2494120>
- [14] LEMOYNE, Robert, Timothy MASTROIANNI a Warren GRUNDFEST. Wearable and wireless accelerometer systems for monitoring Parkinson's disease patients—A perspective review. *Advances in Parkinson's Disease* [online]. 2013, vol. 02, issue 04, s. 113-115 [cit. 2014-04-20]. DOI: 10.4236/apd.2013.24021. Dostupné z: <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/apd.2013.24021>
- [15] LEMOYNE, Robert, Timothy MASTROIANNI a Warren GRUNDFEST. Wireless accelerometer configuration for monitoring Parkinson's disease hand tremor. *Advances in Parkinson's Disease* [online]. 2013, vol. 02, issue 02, s. 62-67 [cit. 2014-04-20]. DOI: 10.4236/apd.2013.22012. Dostupné z: <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/apd.2013.22012>
- [16] LIN, Shu-Hsien. *Proceedings of the 14th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - ASSETS '12* [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 2012, s. 293- [cit. 2014-04-14]. DOI: 10.1145/2384916.2385000. Dostupné z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2384916.2385000>
- [17] Krokoměry | husky-obchod.cz. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.husky-obchod.cz/outdoorove-doplňky/krokoměry>
- [18] MiCoach | adidas. [online]. [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: <http://www.micoach.cz/prislusenstvi>

- [19] Nike+. [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <https://secure-nikeplus.nike.com/plus/products>
- [20] Products | ActiGraph. [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://www.actigraphcorp.com/products/>
- [21] SCHMID, Thomas, Roy SHEA, Jonathan FRIEDMAN a Mani B. SRIVASTAVA. P565-smith.pdf. *Proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks - IPSN '07* [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 2007, s. 567- [cit. 2014-04-14]. DOI: 10.1145/1236360.1236443. Dostupné z: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1236360.1236443>
- [22] KRATZ, Sven, Michael ROHS a Georg ESSL. *Combining acceleration and gyroscope data for motion gesture recognition using classifiers with dimensionality constraints. Proceedings of the 2013 international conference on Intelligent user interfaces - IUI '13* [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 2013, s. 173- [cit. 2014-04-21]. DOI: 10.1145/2449396.2449419. Dostupné z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2449396.2449419>
- [23] PlayStation®Move Motion Controller | PS3™ Accessories - PlayStation®. [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://us.playstation.com/ps3/accessories/playstation-move-motion-controller-ps3.html>
- [24] Move Motion Controller - PS3 Developer wiki. [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: http://www.psdevwiki.com/ps3/Move_Motion_Controller
- [25] Accessories Page 1 - Nintendo.com.au. [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.nintendo.com.au/wii-accessories-page1>
- [26] WONG, Elaine L., Wilson Y. F. YUEN a Clifford S. T. CHOY. *Designing Wii controller. Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia - MoMM '08* [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 2008, s. 82- [cit. 2014-04-22]. DOI: 10.1145/1497185.1497205. Dostupné z: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1497185.1497205>
- [27] SERRA, Alberto, Davide CARBONI a Valentina MAROTTO. Indoor pedestrian navigation system using a modern smartphone. *Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services - MobileHCI '10* [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 2010, s. 397-

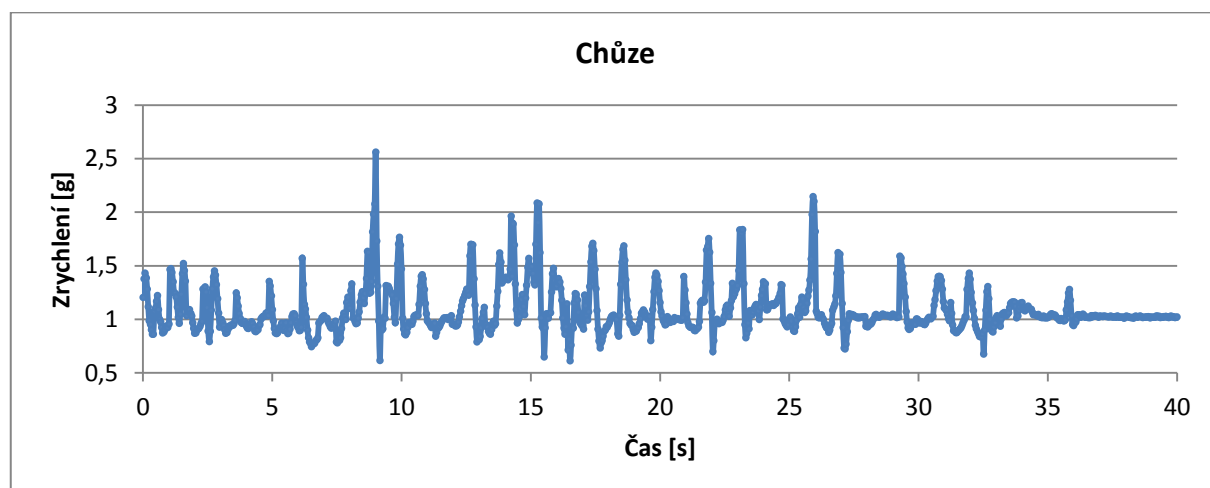
- [cit. 2014-04-23]. DOI: 10.1145/1851600.1851683. Dostupné z: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1851600.1851683>
- [28] MPU-6000/6050 Six-Axis (Gyro + Accelerometer) MEMS MotionTracking™ Devices. [online]. 2014 [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.invensense.com/mems/gyro/mpu6050.html>
- [29] PINKER, Jiří. Sériová sběrnice IIC (Inter-Integrated Circuit Bus): Podklady k přednáškám. [online]. Plzeň [cit. 2014-04-06].
- [30] RN41/RN41N Class 1 Bluetooth Module. [online]. 2013 [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/rn-41-ds-v3.42r.pdf>
- [31] STM32F051xx. [online]. 2014 [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00039193.pdf>
- [32] Specification of Li-polymer Rechargeable Battery: Model No.: LP-443440-1S-3. [online]. 2012 [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1666649.pdf>
- [33] SINGLE-CHIP CHARGE AND SYSTEM POWER-PATH MANAGEMENT IC (bqTINY™): Check for Samples: bq24030, bq24031 bq24032A, bq24035, bq24038. [online]. 2009 [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24032a.pdf
- [34] LOW INPUT VOLTAGE SYNCHRONOUS BOOST CONVERTER WITH 1.3-A SWITCHES: Check for Samples: TPS61200, TPS61201, TPS61202. [online]. 2013 [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61201.pdf>

Přílohy

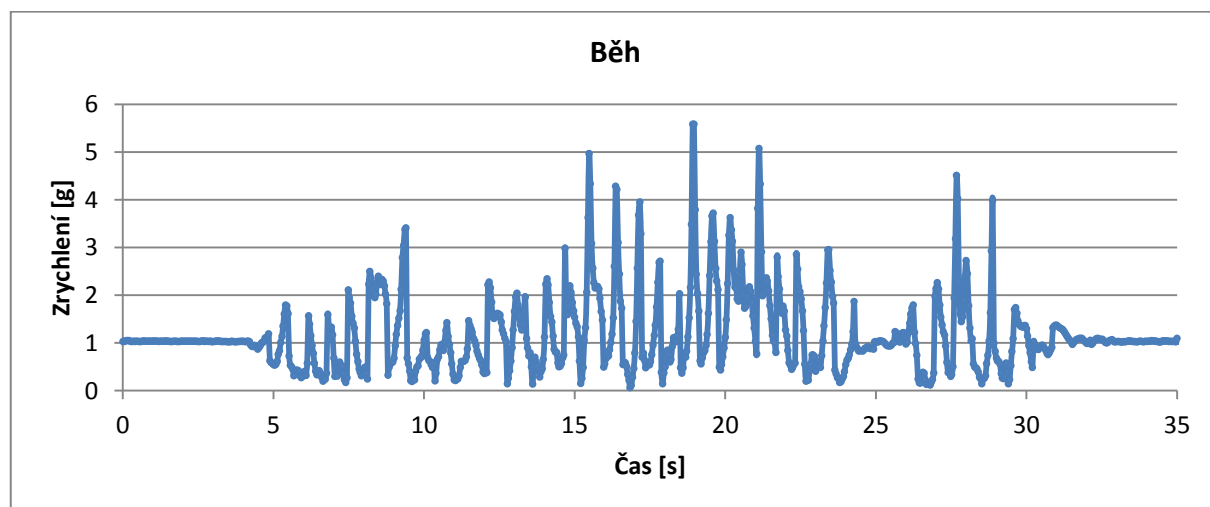
Příloha A – Měření zrychlení



Obr. A.1 Graf zrychlení při pádu



Obr. A.2 Graf zrychlení při chůzi



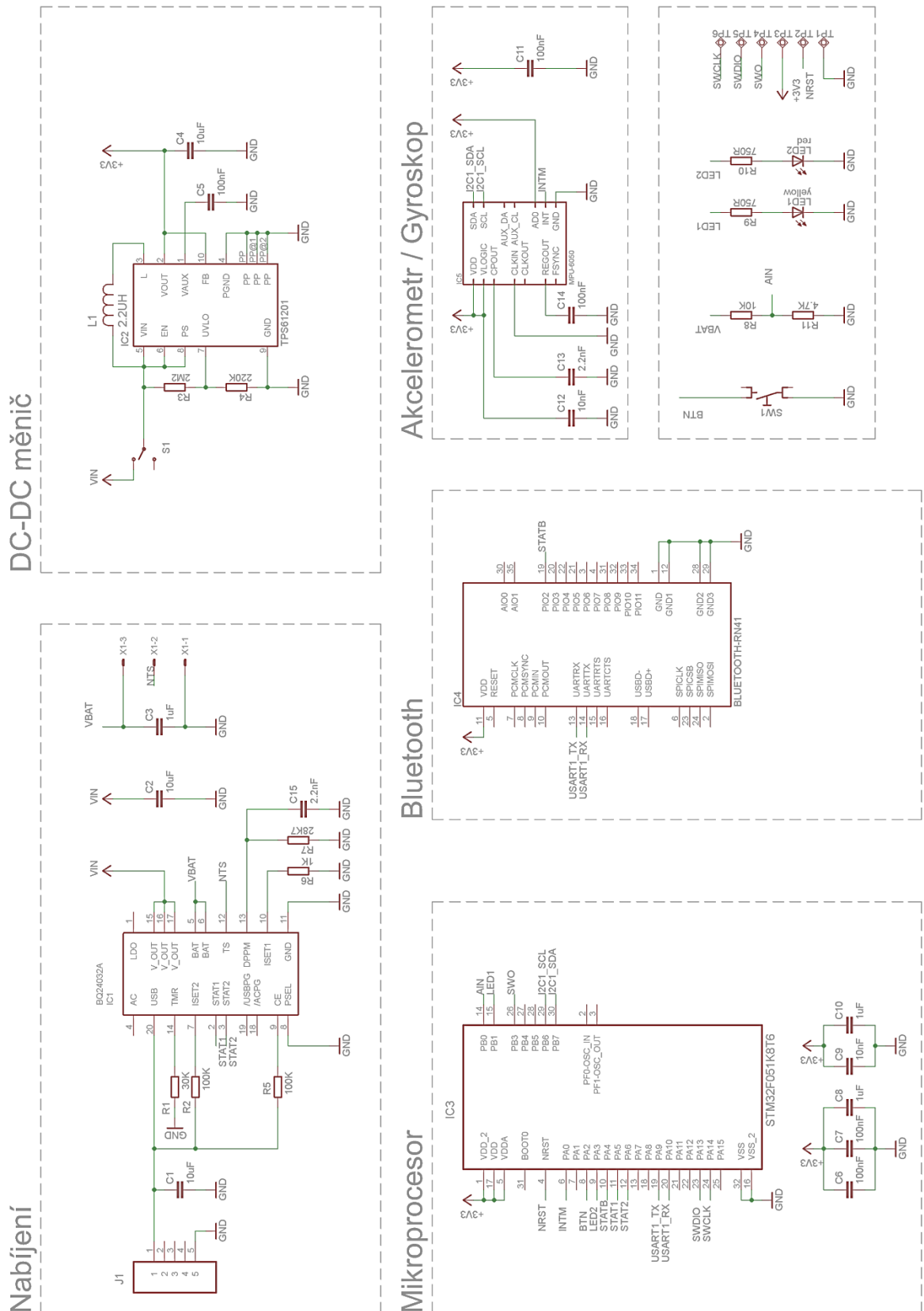
Obr. A.3 Graf zrychlení při běhu

Příloha B – Seznam součástek

Počet	Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
3	C1, C2, C4	10 μ F / 6,3V	C0805	Keramický kondenzátor
3	C3, C8, C10	1 μ F / 16 V	C0402	Keramický kondenzátor
1	C13, C15	2,2 nF / 50 V	C0402	Keramický kondenzátor
5	C5, C6, C7, C11, C14	100 nF / 25 V	C0402	Keramický kondenzátor
2	C9, C12	10 nF / 16 V	C0402	Keramický kondenzátor
1	IC1	BQ24032A	QFN-20	BQ240320
1	IC2	TPS61201	QFN-10	TPS61201
1	IC3	STM32F051K8T6	LQFP-32	STM32F051K8T6T
1	IC4	BLUETOOTH-RN41	13,4 x 25,8 x 2 mm	BLUETOOTH-RN41
1	IC5	MPU-6050	QFN-24	MPU-6050
1	L1	2,2 μ H	3 x 3 x 1,5 mm	ELLVGG2R2N-VXG
1	LED1	2.5 mcd, 1.8 V, 2 mA	0805	LED žlutá
1	LED2	2.5 mcd, 1.8 V, 2 mA	0805	LED červená
1	R1	30 k Ω	R0402	Rezistor
1	R11	4,7 k Ω	R0403	Rezistor
2	R2, R5	100 k Ω	R0404	Rezistor
1	R3	2,2 M Ω	R0405	Rezistor
1	R4	220 k Ω	R0406	Rezistor
1	R6	1 k Ω	R0407	Rezistor
1	R7	28,7 k Ω	R0408	Rezistor
1	R8	10 k Ω	R0409	Rezistor
2	R9, R10	750 Ω	R0410	Rezistor
1	S1	JS102011SAQN		Přepínač
1	SW1	SCHURTER-LSH-1301.9314		Tlačítko
1	J1	USB Micro B		Konektor mikro USB
1	X1	SM03B-SRSS-TB		3-pin. konektor na DPS
1		SHR-03V-S-B		3-pin. konektor
3		SSH-003T-P0.2		Piny do konektoru
1		LP-443440-IS-3		Baterie

Příloha C – Schéma a návrh DPS

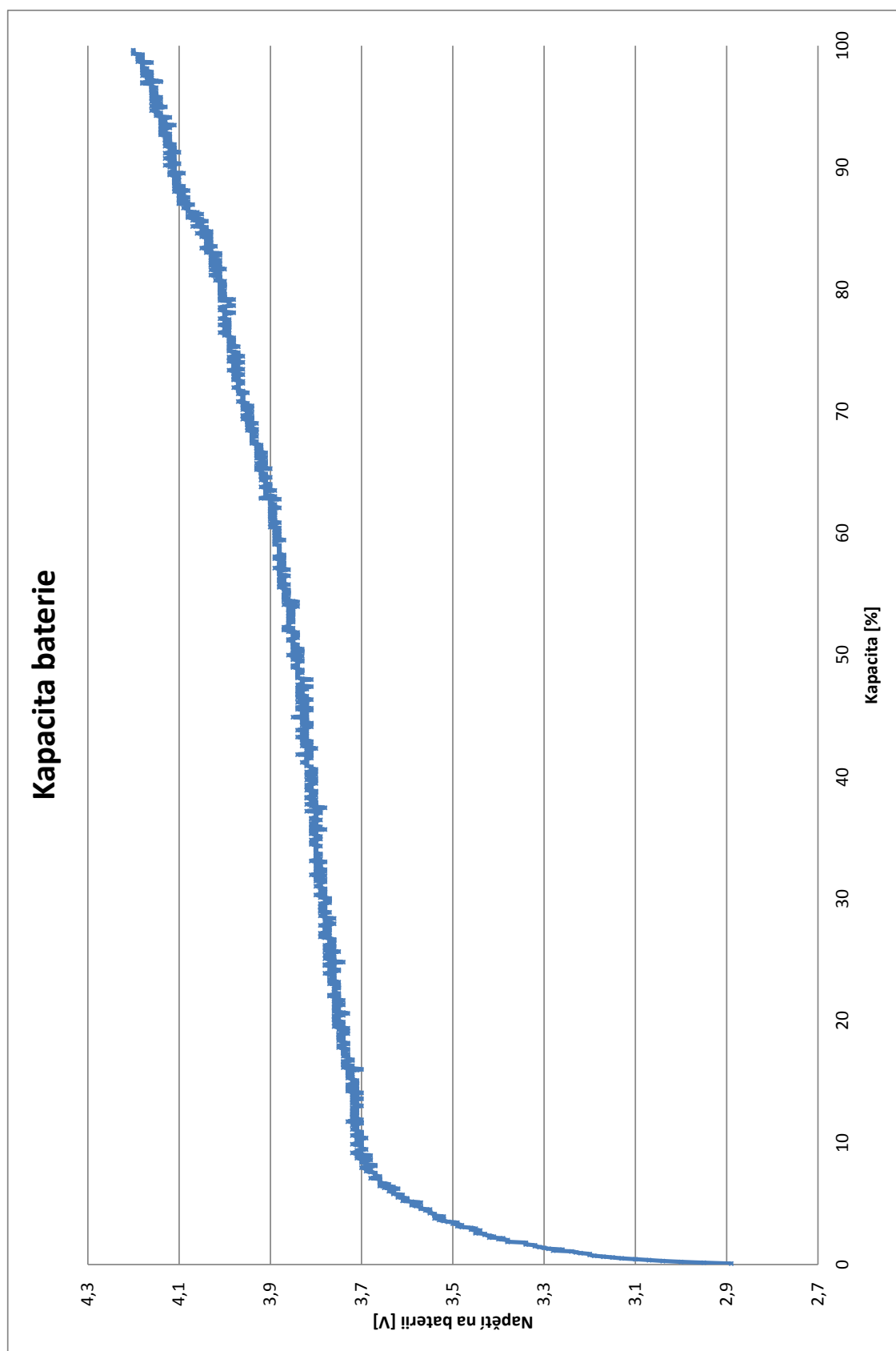
Schéma a návrh DPS se nachází ve složce Eagle na příloženém CD.



Obr. C.1 Návrh schématu detektoru pohybu osob

Příloha D – Software pro mikrokontrolér

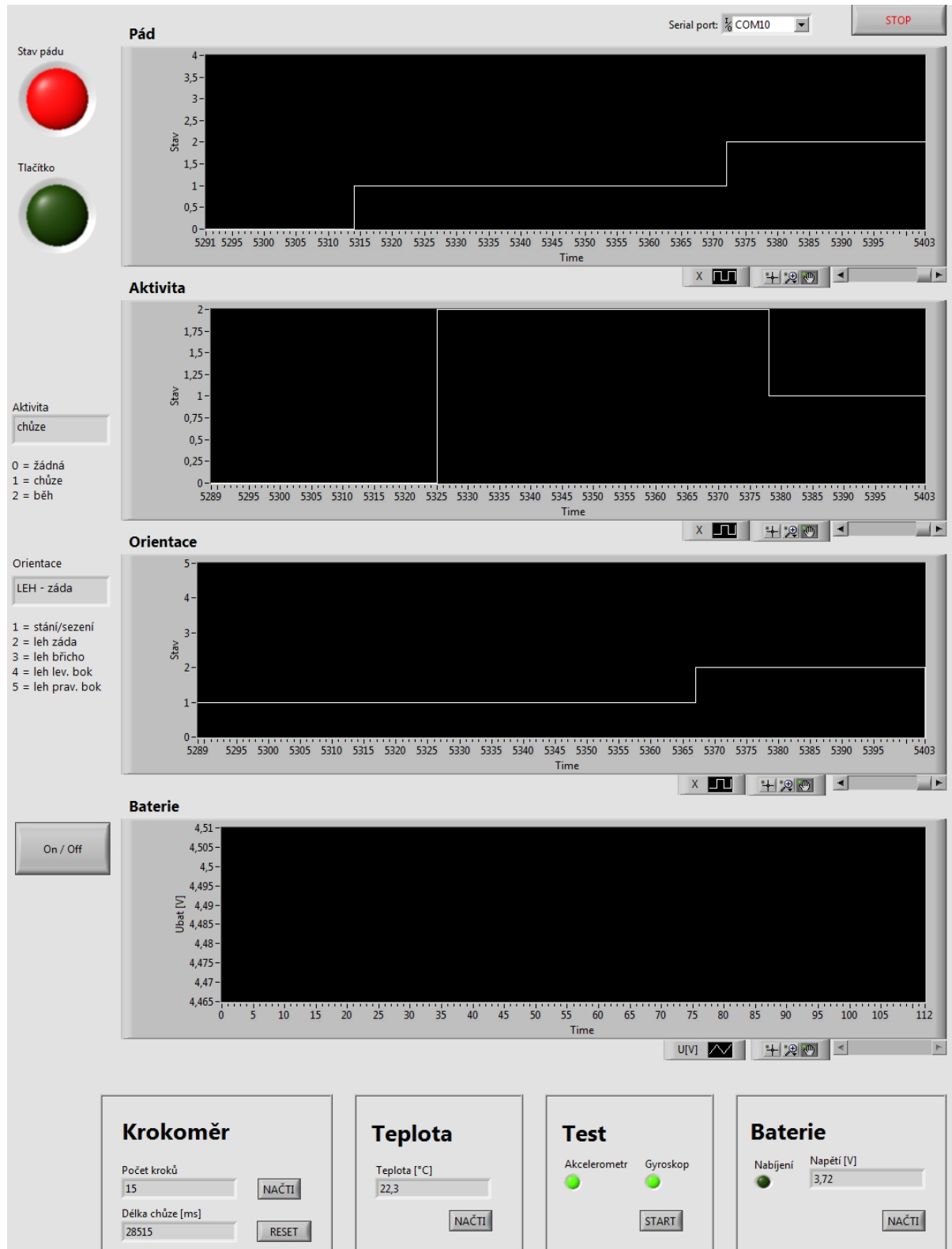
Software pro mikrokontrolér se nachází ve složce Detektor na přiloženém CD.

Příloha E – Měření kapacity baterie

Obr. E.1 Graf měření kapacity baterie

Příloha F – Vyhodnocení v programu LabView

Vyhodnocující software se nachází ve složce LabView na příloženém CD.



Obr. F.1 Vyhodnocení detektoru v LabView