

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

System detekce napadení zámkové vložky
Bc. Adam Neřold

Diplomová práce
2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam Neřold**
Osobní číslo: **I16178**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a řídicí technologie**
Název tématu: **Systém detekce napadení zámkové vložky**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Cíl práce:

Navrhněte systém detekující napadení zámkové vložky s dálkovou deaktivací. Systém bude založen na měřící desce s akcelerometrickými senzory a bateriovém napájení, připevněné k zámkové vložce. Dále na centrální jednotce komunikující se zámkovou vložkou prostřednictvím BTLE technologie. Uživatel bude mít možnost provést deaktivaci ochrany pomocí mob. telefonu s OS Android. V první fázi vytvořte DPS s CPU STM Cortex, ke které bude připojena deska se snímači pomocí vámi zvolené sběrnice. Senzory budou mechanicky připojeny k zámkové vložce. Na tento senzorický kit umístěte BTLE modul. Senzorický kit stanoví práh zrychlení pro detekci napadení, spotřebu zařízení atd. Snažte se o minimalizaci spotřeby. V době nečinnosti veškeré součásti kitu uspávejte. Navrhněte způsob probuzení v případě napadení. Senzorický kit umožní přenos dat do PC prostřednictvím RS232. Vytvořte skript/aplikaci pro záznam dat. Umístěte na kit alespoň dvě uživatelská tlačítka a LED. Dále navrhněte centrální jednotku, která bude se senzorickým kitem komunikovat prostřednictvím BTLE a umožní vyčítat provozní stav a zobrazí jej na LCD 16x2. Alarm bude signalizován LED a akusticky. Centrální jednotka také upozorní na nízkou kapacitu baterie v senzorickém kitu. Zajistěte možnost uživatelské aktivace/deaktivace ochrany centrální jednotky pomocí mob. telefonu. Na centrální jednotku umístěte port s GPIO pro připojení dalších modulů (WiFi, GSM).

Zásady pro vypracování:

Proveďte rešerši existujících zámkových systémů s funkcí dálkové aktivace ochrany.

Proveďte analýzu a výběr vhodných MEMS senzorů pro vyvíjený senzorický kit.

Navrhněte senzorický kit s akcelerometry.

Stanovte práh, případně sekvenci hodnot zrychlení pro aktivaci alarmu.

Navrhněte centrální jednotku.

Vytvořte SW pro OS Android umožňující aktivaci a deaktivaci ochrany zámkové vložky (komunikace přes BTLE). Během konstrukce se snažte minimalizovat rozměry a spotřebu zařízení.

Rozsah grafických prací: dle potřeby, orientačně 20 grafů

Rozsah pracovní zprávy: cca 80 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

[1] Brown G.: "Discovering the STM32 Microcontroller", Indiana University 2016

[2] Yiu J.: "The Definitive Guide to ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors", Newnes 2013, ISBN-10: 0124080820

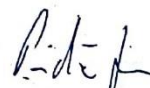
Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Dobrovolný, Ph.D.
Katedra elektrotechniky

Datum zadání diplomové práce: 31. října 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2018



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



Ing. Jan Pidanič, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. listopadu 2017

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 22. 8. 2018

Bc. Adam Neřold

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu této diplomové práce Ing. Martinu Dobrovolnému, Ph.D. za jeho odbornou pomoc a konzultace v průběhu práce na návrhu celého zařízení. Dále kolegovi Michalu Staškovi, DiS. za asistenci během návrhu hardwarové realizace a v neposlední řadě mé rodině a přátelům, kteří při mně stáli a podporovali mě během celého studia na vysoké škole.

ANOTACE

Tato diplomová práce řeší problematiku systému detekce napadení zámkové vložky za použití inerciálních MEMS senzorů. Data jsou zpracovávána v centrální jednotce osazené CPU STM Cortex. Centrální jednotka slouží pro vyhodnocení detekce napadení a pro interakci s uživatelem. Centrální jednotka dále obsahuje modul Bluetooth Low Energy pro komunikaci s chytrým telefonem s OS Android, ze kterého lze celý systém ovládat.

Celý systém má dva režimy – jeden pro experimentální měření s použitými senzory a druhý pro vyhodnocování dat ze senzorů a detekci napadení a spuštění alarmu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zámková vložka, MEMS, Akcelerometr, Gyroskop, Magnetometr, STM32, Bluetooth Low Energy, Android

TITLE

Lock Cylinder Attack Detection System

ANNOTATION

Goal of the thesis is solving problematics of lock cylinder attack detection with MEMS inertial sensors. The sensors' data are processed in central unit with STM Cortex CPU. The central unit's task is evaluation of attack detection and interaction with a user. There is also a Bluetooth Low Energy module on the central unit for communicating with a smartphone from which the system can be controlled.

The system has two working modes – one for experimental measurements with the sensors and second for data evaluation and attack detection.

KEYWORDS

Lock cylinder, MEMS, Accelerometer, Gyroscope, Magnetometer, STM32, Bluetooth Low Energy, Android

OBSAH

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	12
Seznam zkratk	13
Úvod	15
1 Existující ochrany před neoprávněným vniknutím.....	16
1.1 Bezpečnostní zámek	16
1.2 Detekce pohybu	16
1.2.1 Ultrazvukový poplašný systém.....	16
1.2.2 Mikrovlnná detekce pohybu	17
1.2.3 Pasivní infračervená technologie	17
1.2.4 Hlásič rozbití skla	17
1.3 Existující řešení společnosti ASSA ABLOY.....	18
1.4 Cíl systému detekce napadení zámkové vložky	18
2 Cylindrická vložka a metody neoprávněného vniknutí.....	19
2.1 Cylindrická vložka.....	19
2.2 Metody neoprávněného vniknutí	19
2.2.1 Vyklepání zámku	20
2.2.2 Vyháčkování zámku	20
2.2.3 Odvrtání	20
2.2.4 Použití hrubé síly	20
2.3 Navrhovaný postup detekce.....	20
3 Způsob detekce.....	22
3.1 Akcelerometr	22
3.1.1 MEMS akcelerometr.....	23
3.2 Magnetometr.....	24
3.2.1 MEMS magnetometr.....	25
3.3 Gyroskop.....	25
3.3.1 MEMS gyroskop.....	26

3.4	Existující řešení.....	26
4	Použitý hardware.....	28
4.1	STM32F0C8T6.....	28
4.2	LSM9DS1	29
4.3	RN4020.....	29
4.4	LCD 16x2	30
5	Použitá komunikační rozhraní	30
5.1	UART.....	31
5.2	I ² C	31
5.3	BTLE	31
5.3.1	Terminologie a základní koncept.....	32
6	Popis funkce celého systému	33
6.1	Režim měření	33
6.2	Režim detekce.....	33
7	Hardwarová realizace.....	35
7.1	Senzorická deska.....	35
7.1.1	Schéma zapojení	35
7.1.2	Návrh DPS	36
7.1.3	Finální výrobek	37
7.2	Centrální jednotka.....	37
7.2.1	Schéma zapojení	38
7.2.2	Návrh DPS	39
7.2.3	Finální výrobek.....	40
8	Softwarová realizace.....	41
8.1	Mikroprocesor.....	41
8.1.1	Algoritmus	41
8.2	Výčet a zpracování dat.....	47
8.3	Obslužná aplikace pro OS Android	47
9	Naměřená data	49

9.1	Postup měření	49
9.2	Grafy naměřených hodnot	51
9.2.1	± 245 °/s, ± 2 g, ± 4 gauss.....	51
9.2.2	± 500 °/s, ± 4 g, ± 4 gauss.....	58
9.2.3	± 2000 °/s, ± 8 g, ± 4 gauss.....	60
9.3	Poznatky.....	63
10	Detekční algoritmus	64
10.1	Návrh detekčního algoritmu	64
10.2	Popis algoritmu	65
11	Změřená spotřeba	66
12	Doporučení pro další vývoj	66
12.1	Jiný senzor	66
12.2	Přesnější měření.....	67
12.3	Uspávání centrální jednotky	67
12.4	Automatické připojení k chytrému telefonu	67
12.5	Hlášení spuštěného alarmu	67
Závěr	68
Použitá literatura	69

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1- Cylindrická vložka[6].....	19
Obrázek 2 - Blokové schéma systému	21
Obrázek 3 - Cylindrická vložka s knoflíkem	22
Obrázek 4 - Princip MEMS akcelerometru.....	24
Obrázek 5 – Gyroskop[15].....	26
Obrázek 6 - RN4020 modul	30
Obrázek 7 - 16x2 LCD displej	30
Obrázek 8 - Popis centrální jednotky se sejmutým LCD.....	34
Obrázek 9 - Celý systém se senzorem umístěným na knoflíku zámkové vložky	34
Obrázek 10 - Schéma zapojení sensorické desky s LSM9DS1	35
Obrázek 11 - Návrh DPS sensorické desky s LSM9DS1	36
Obrázek 12 – Finální výrobek sensorické desky s LSM9DS1	37
Obrázek 13 - Schéma zapojení centrální jednotky.....	38
Obrázek 14 - Vhodné umístění RN4020 modulu na DPS.....	39
Obrázek 15 - Návrh DPS centrální jednotky.....	40
Obrázek 16 - Finální výrobek centrální jednotky	40
Obrázek 17 - Nastavení všech periférií procesoru v programu SMT32CubeMX	41
Obrázek 18 - STM32 program - vývojový diagram.....	46
Obrázek 19 – Obslužná aplikace pro OS Android	48
Obrázek 20 - Přípravek pro měření	50
Obrázek 21 - Přípravek pro měření - detail.....	50
Obrázek 22 - Senzor v klidu	51
Obrázek 23 – Otočení cylindrem zámku o 180°, pomalu	52
Obrázek 24 - Otočení cylindrem zámku o 180°, rychle.....	52
Obrázek 25 - Otočení cylindrem zámku o 360°	53
Obrázek 26 - Otočení cylindrem zámku o 720°.....	53
Obrázek 27 – Vibrace.....	54
Obrázek 28 – Vibrace.....	55
Obrázek 29 - Otevření dveří – pomalé	56
Obrázek 30 - Otevření dveří - středně rychle.....	56
Obrázek 31 - Otevření dveří – rychle.....	57
Obrázek 32 - Senzor v klidu	58

Obrázek 33 - Otáčení cylindrem zámku.....	59
Obrázek 34 – Vibrace.....	60
Obrázek 35 – Senzor v klidu.....	61
Obrázek 36 - Otáčení cylindrem zámku.....	62
Obrázek 37 – Vibrace.....	63

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Několik vybraných inerciálních senzorů firmy STMicroelectronics[18].....	27
Tabulka 2 - Základní vlastnosti modulu LSM9DS1[19]	27
Tabulka 3 - Základní vlastnosti STM32F0C8T6 procesoru[20].....	28
Tabulka 4 - UART konfigurace	31
Tabulka 5 - Hlavní rozdíly mezi externí a emulovanou EEPROM[24].....	44
Tabulka 6 - Spotřeba	66

SEZNAM ZKRATEK

ČSN	Československá Norma
PIN	personal identification number
MEMS	MicroElectroMechanical Systems
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
ARM	Advanced RISC Machine
RISC	Reduced Instruction Set Computer
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
BTLE	Bluetooth Low Energy
OS	Operační Systém
I ² C	Inetr-Integrated Circuit
GPIO	General-Purpose Input/Output
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter
USB	Universal Serial Bus
RAM	Random Access Memory
SDA	Synchronous Data
SCL	Synchronous Clock
SPI	Serial Peripheral Interface
MISO	Master In Slave Out
MOSI	Master Out Slave In
SCK	Serial Clock
CS	Chip Select
API	Application Programming Interface
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
FTDI	Future Technology Devices International
DPS	Deska Plošných Spojů
SMD	Surface Mounted Device
SWD	Serial Wire Debug
IDE	Integrated Development Enviroment
HAL	High Abstraction Layer
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
MLDP	Microchip Low-energy Data Profile

GSM	Groupe Spécial Mobile
SIM	Subscriber Identity Module
GATT	Generic Attribute Profile
ATT	Attribute Protocol
UUID	Universally Unique Identifier
AT	Attention

ÚVOD

Na podnět vnějšího zadavatele byla na fakultě elektrotechniky a informatiky univerzity Pardubice řešena problematika inteligentního systému detekce napadení zámkové vložky.

Cílem práce je návrh zařízení detekující pokusy o napadení zámkové vložky s možností ovládání systému prostřednictvím chytrého telefonu.

V první fázi návrhu byla provedena rešerše existujících metod detekce napadení a používaných metod útoků. Druhou fází návrhu je rešerše vhodných senzorů pro detekci napadení.

Pro detekci napadení byl vytvořen systém, skládající se ze dvou částí. První částí je miniaturní desička osazená pouze senzory, určená k umístění přímo na zámkovou vložku. Druhou částí je centrální jednotka osazená mikroprocesorem STM32, která se stará o vyhodnocování dat ze senzorů, o interakci s uživatelem a o propojení s chytrým telefonem pomocí BTLE technologie.

S takto navrženým systémem byla dále provedena experimentální měření a na jejich základě vznikl detekční algoritmus. V případě úspěšné detekce napadení systém spustí alarm, který je potom možné deaktivovat buď pomocí chytrého telefonu s OS Android se speciální obslužnou aplikací nebo tlačítkem přímo na centrální jednotce.

Pro interakci s uživatelem slouží dvě uživatelská tlačítka, dvě uživatelské LED a 16x2 LCD displej. Centrální jednotka ještě obsahuje GPIO header určený pro připojení dalších případných zařízení.

1 EXISTUJÍCÍ OCHRANY PŘED NEOPRÁVNĚNÝM VNIK- NUTÍM

1.1 Bezpečnostní zámek

Bezpečnostní zámky jsou navrženy tak, aby odolávaly nejrůznějším technikám neoprávněného vniknutí. Proti vyklepání zámku se například brání speciálně tvarovanými stavítky a přídavnými bočními blokovacími prvky, ochrana proti vyháčkování je realizována překrytým profilem, ochrana proti odvrtání kalenými ocelovými prvky v tělese i bubínku vložky a další ochrany popsané v ČSN P EN 1627:2000.[1]

Ačkoliv bezpečnostní zámek zvyšuje úroveň ochrany, není odolný vůči všem útokům (např. použití hrubé síly) a je vhodné použít další vrstvu ochrany.

1.2 Detekce pohybu

1.2.1 Ultrazvukový poplašný systém

Celý systém je založen na ultrazvukovém čidle, umístěném někde v místnosti, které je schopno detekovat pohyb po místnosti. Jedná se tedy o systém, který detekuje až prolomení zabezpečení a pachatel se již pohybuje po objektu. Této situaci se tato práce snaží předejít a detekovat již pokus o vniknutí přímo u dveří.

Ultrazvukový poplašný systém se hodí spíše do větších prostor, jako jsou sklady nebo firmní budovy, nesou s sebou totiž tyto výhody:

- Pokrytí velkého prostoru, teoreticky „vidí“ i za určité druhy zdiva
- Schopnost detekce v situaci, kdy pachatel v místnosti byl již před aktivací systému
- Vysoká stabilita
- Minimalizace počtu metalických vodičů
- Samoobnovení – při spuštěném alarmu se čidlo dokáže samo vyvážit a detekovat případné další pohyby
- Eliminují potřebu konstrukce elektronických alarmů pro šachty vzduchotechniky[2]

1.2.2 Mikrovlnná detekce pohybu

Užívá podobný princip jako ultrazvuková čidla, ale k detekci pohybu využívá mikrovlnných senzorů s frekvencí v jednotkách GHz.

Čidlo v sobě kombinuje radiový vysílač a přijímač. Vysílač vyšle signál, který se odrazí od objektu a přijímač pak přijme tento odražený signál. Pokud se objekt pohybuje, odražený signál je přijat s Dopplerovým posuvem.

Mikrovlnná detekce pohybu s sebou přináší několik výhod a nevýhod. Ačkoliv není rušena zvukovým a ultrazvukovým ruchem, může být rušena jinými mikrovlnnými systémy, fungujícími na podobné frekvenci, čímž může docházet k falešným poplachům. Další případ falešného poplachu může nastat v objektu s plechovou střechou nebo vraty. Při silném větru se plechy pohybují, čímž dochází k různým Dopplerovým posuvům odražených signálů a dochází tím k falešné detekci pohybu po objektu.

Hlavní výhodou je libovolný návrh směrovosti antén. Systém je možné navrhnout tak, aby detekoval pohyb pouze v úzkém paprsku (např. chodba dlouhá až několik stovek metrů) nebo naopak velké plochy (např. sklady s rozlohou až 3000 m²). Mikrovlnná detekce je také vhodná pro venkovní použití.[2]

1.2.3 Pasivní infračervená technologie

Systém funguje na principu měření změny teploty (infračervené energie). Jelikož je tato technologie pasivní (založená na měření teploty), nevysílá do prostoru žádnou dodatečnou energii a má velice nízkou spotřebu.

Tato technologie je odolná vůči širokému spektru rušících elementů, jako např. vibrace, hluk, pohyb vzduchotechniky (ventilátory). Senzory také mají schopnost kompenzace měnící se teploty v místnosti. Pokud je však změna teploty rychlá, může dojít k falešnému poplachu.[2]

1.2.4 Hlásič rozbití skla

Hlásič rozbití skla je určen pro umístění zejména na okna či výlohy. Funguje na principu snímání zvuku mikrofonem reagujícím na frekvence 50 Hz až 100 Hz, což jsou právě frekvence typické pro rozbití skleněné okenní tabule. Zařízení navíc reagují i na tlakovou vlnu s dosahem až 6 m.[3]

1.3 Existující řešení společnosti ASSA ABLOY

ASSA ABLOY je předním dodavatelem inteligentních řešení zámků a zabezpečení. Jejich nabídka zahrnuje klasické bezpečnostní zámky a zámky elektronické. Do kategorie elektronických zámků patří samozamykací zámky, zámky na dálkové ovládání, zámky s PIN kódem, čtečky otisků prstů, odemykací karty a tak dále. Ačkoliv všechna tato řešení zvyšují zabezpečení objektu, žádné z nich v sobě nekombinuje detekci útoku na vlastní zámek.[4]

1.4 Cíl systému detekce napadení zámkové vložky

Jak plyne z předchozího, většina dnes využívaných detekčních systémů detekuje až neoprávněné vniknutí. Cílem této práce je navržení systému, který detekuje již pokus o vniknutí, čímž může předejít dalším újmám na majetku, jako je například poškození dveří. Pokus o vniknutí je nejlepší detekovat co nejdříve, tedy ve většině případů u dveří, resp. jejich zámkové vložky. Navržené zařízení funguje na principu detekce pohybu a vibrací. Detekce pohybu pro případy otáčení cylindru zámku a otevírání dveří. Detekce vibrací pro případy použití hrubé síly nebo dalších nástrojů jak např. vrtačky.

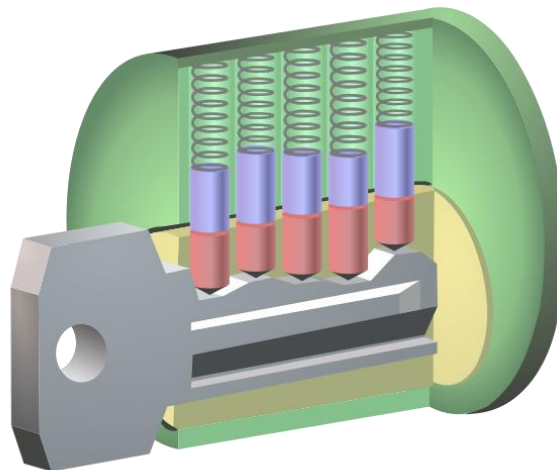
Při návrhu systému je dbáno na minimalizaci rozměrů senzorické destičky, aby ji bylo možné umístit přímo na zámkovou vložku. Systém je vhodné používat v kombinaci s některým z již existujících řešení, čímž se přidá další úroveň ochrany, pokud je objekt napaden z jiného místa než od dveří. Další vhodná kombinace je s některým ze zmíněných produktů společnosti ASSA ABLOY z hlediska uživatelské přívětivosti (např. automatické odemčení při deaktivaci systému v případě použití samozamykacího zámku).

Na uživatelskou přívětivost je v celém návrhu také dbáno, a proto se dá celé zařízení ovládat z chytrého telefonu.

2 CYLINDRICKÁ VLOŽKA A METODY NEOPRÁVNĚNÉHO VNIKNUTÍ

2.1 Cylindrická vložka

Cylindrická vložka je v dnešní době základem víceméně všech dveřních i visacích zámků. Jde o válec s otvorem pro klíč, v němž se nachází různý počet odpružených stavítek a blokovacích kolíků (zpravidla 4-6). Stavítka a blokovací kolíky mají různou výšku, přičemž zuby klíče je posouvají do optimální polohy, v níž se může válec cylindrické vložky volně otáčet. Hrot klíče pak vysune kovovou spojku, kterou se vložka propojí se zubem, ten se zapře do pně závory a může jí pohybovat. Pokud by byl zub klíče příliš dlouhý, vložku by brzdilo stavítko, pokud by byl příliš krátký, vložku by brzdil blokovací kolík. Otvor pro klíč má navíc různé uspořádání drážek, jimž musí klíč rovněž odpovídat. Zámek zpravidla tvoří dvě identické cylindrické vložky, přičemž vsunutí klíče z jedné strany zamezuje zasunout klíč z druhé strany zámku.[5]



Obrázek 1- Cylindrická vložka[6]

2.2 Metody neoprávněného vniknutí

Ačkoliv v dnešní době existuje celá řada bezpečnostních zámků, není nemožné se do nich dostat, ať už pomocí jemné techniky vyháčkování nebo hrubou silou. Následuje výčet několika takových technik a navrhovaný postup jejich detekce.

2.2.1 Vyklepání zámku

Jedná se o techniku použití speciálně upraveného klíče, který padne do zámku, jehož každý zářez je upilovaný na nejmenší přípustnou výšku. Po vložení klíče do zámku se do něj uhodí gumovou palicí nebo podobným předmětem a klíčem se vzápětí otočí. Jelikož jsou kolíčky v zámku dělené na dvě části, pohyb z úderu přenesení sílu na nižší část (která spočívá ve vložce), odkud se pak přenesení do horní sekce (která brání vložce v otočení). Pokud se takto zvednou všechny kolíčky, půjde zámek otočit.[7]

Jelikož zde dochází k tlučení a otáčení, bude vhodné tuto metodu vniknutí detekovat právě jednou z těchto dvou událostí – tedy vibrace nebo otáčení.

2.2.2 Vyháčkování zámku

Tato metoda spočívá v použití speciální sady šperháků a napínáku. Šperhák slouží k vyzvedávání jednotlivých kolíčků v zámku a napínák k napínání spodní části zámku a posléze i jeho otočení.[7]

Tato metoda je velice šetrná a v rukou zkušeného člověka nevytváří skoro žádné vibrace ani hluk. Jediná možnost, jak tuto techniku zaznamenat je tedy otočení cylindru zámku po úspěšném vyháčkování.

2.2.3 Odvrtání

Dále lze zámkovou vložku jednoduše odvrtat.[7] To samozřejmě způsobuje vibrace, tedy tuto metodu neoprávněného vniknutí bude možno detekovat právě dle vibrací.

2.2.4 Použití hrubé síly

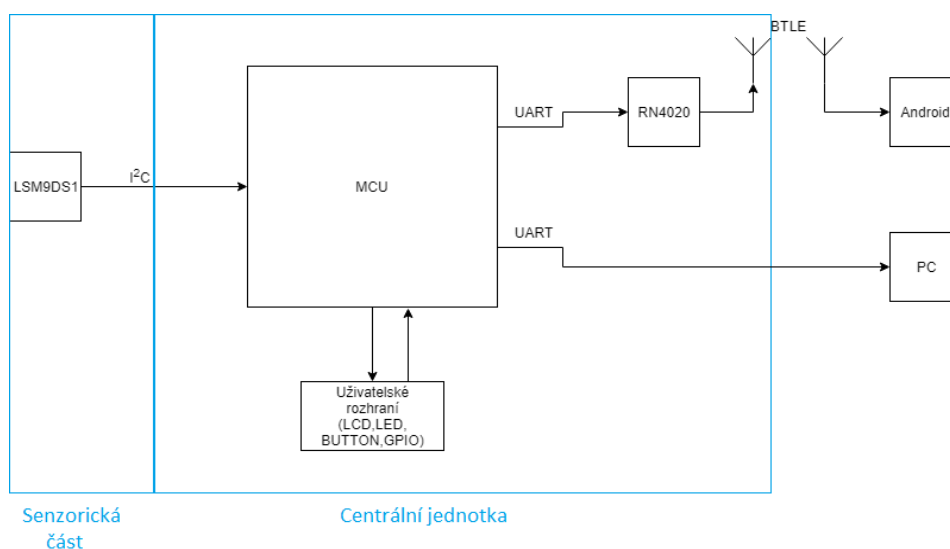
Buď vykopnutím nebo v případě odolnějších dveří použitím beranidla či palice. Tento postup generuje hodně pohybu a vibrací, nebude tedy obtížné ho detekovat.

2.3 Navrhovaný postup detekce

Jak je patrné z předchozí podkapitoly, je nutno detekovat zejména otáčení zámku, vibrace a pohyb dveří. Nejlepší k tomuto účelu je použití inerciálních senzorů, a to akcelerometru na

detekci vibrací, dále akcelerometru nebo magnetometru pro určení aktuálního natočení zámku vůči zemi a gyroskopu pro detekci okamžitého otáčení.

Hardware celého zařízení se skládá ze dvou částí. První je miniaturní senzorická destička určená k umístění přímo na zámkovou vložku, která je pomocí I²C sběrnice propojená s částí druhou, která slouží jako centrální jednotka pro zpracování dat a interakci s uživatelem. Na centrální jednotce je dále osazen BTLE modul pro komunikaci s chytrým telefonem, z kterého je možné celé zařízení ovládat na dálku. Systém je takto rozdělen na dvě části, aby část určená k umístění na zámkovou vložku mohla být co nejmenší, a tedy nikde nepřekážela a aby měření nebylo ovlivňováno vahou vlastního hardwaru.



Obrázek 2 - Blokové schéma systému¹

Aby bylo možné navrhovaný senzor na zámkovou vložku umístit a sledovat vlastní otáčení cylindru, je nezbytné použít cylindrickou vložku s knoflíkem, kde se senzor umístí na čelní stranu knoflíku. Knoflík se totiž otáčí spolu s celým cylindrem, a proto bude nejjednodušší detekovat otáčení právě na něm.

¹ Blokové schéma navrženo a vygenerováno pomocí on-line nástroje na <https://www.draw.io>

Pro testovací účely byla zakoupena zámková vložka FAB ASSA ABLOY 200 s knoflíkem. Průměr knoflíku je 22 mm, proto je při hardwarové realizaci dbáno na rozměry senzorické desičky, aby tento rozměr nepřesahovala.



Obrázek 3 - Cylindrická vložka s knoflíkem

3 ZPŮSOB DETEKCE

Jak již bylo uvedeno, jako nejvhodnější se pro tuto aplikaci zdá použití inerciálních senzorů. V dnešní době se z valné většiny tyto senzory vyrábějí v MEMS provedení, což jsou miniaturní systémy kombinující v sobě elektrické a mechanické senzory.

Měření inerciálními senzory probíhá ve všech třech osách, aby bylo možné senzory na zámkovou vložku umístit do libovolné výchozí polohy. K detekci otáčení cylindru zámkové vložky a pohybu dveří slouží zejména gyroskop. Akcelerometr pak detekuje hlavně vibrace a aktuální natočení senzoru vůči zemské přitažlivosti.

3.1 Akcelerometr

Akcelerometr je součástka měřící zrychlení. Zrychlení je míra změny rychlosti vůči času. Okamžité zrychlení se vypočítá jako první derivace rychlosti podle času:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta v}{\Delta t} [m \cdot s^{-2}]$$

Kde: v : rychlost [$m \cdot s^{-1}$]

t : čas [s].

Zrychlení se běžně udává v násobcích normálního tíhového zrychlení² g .

² Tíhové zrychlení Země na 45° zeměpisné šířky u hladiny moře: 9,80665 $m \cdot s^{-2}$ [8]

3.1.1 MEMS akcelerometr

Struktura a funkce MEMS akcelerometru je založena na proměnné kapacitě tříelektrodového vzduchového kondenzátoru. Využívá se zde známé nelineární závislosti kapacity C na vzdálenosti elektrod kondenzátoru d (velikosti vzduchové mezery) dle vzorce:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d} [F]$$

Kde: ε : konstanta

S : plocha elektrod

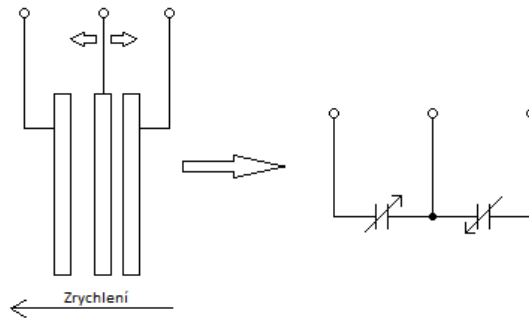
d : vzdálenost elektrod

Pokud tedy jednu elektrodu uděláme pohyblivou a její pohyb bude závislý na působícím zrychlení, získáme kapacitní akcelerometr. A protože taková struktura pohyblivých elektrod je snadno realizovatelná MEMS technologií, vznikne nám MEMS akcelerometr.

Vychází se ze základního vztahu pro působení síly při zrychlení:

$$F = m \cdot a [N]$$

kde F je síla vzniklá působením zrychlení a na hmotu m . Síla se pak přes pružiny převádí na posuv nosníčku, jejíž některé části tvoří pohyblivé elektrody vzduchového kondenzátoru. Jejich pozice vůči levým pevným elektrodám a pravým pevným elektrodám určuje elektronicky měřenou hodnotu kapacity takto vzniklého kondenzátoru.[9]



Obrázek 4 - Princip MEMS akcelerometru

3.1.1.1 Elektrická struktura

Celá ASIC elektronika, která měří změnu kapacity, převádí ji na změnu napětí a zpracovává takto získaný signál na standardní lineární napěťový výstup, je implantována pod snímacím elementem překrytého krycí "kopulí". K měření kapacity se využívá metody spínaných kondenzátorů řízené číslicovou logikou a generátorem spínacího hodinového signálu. Dochází tak k převodu změny kapacity na změnu napětí. To je následně linearizováno a filtrováno opět obvody se spínanými kondenzátory a nakonec se provádí kompenzace vlivu teploty. Výsledkem je lineární, zesílený a kompenzovaný napěťový signál s definovanou převodní konstantou - citlivostí podávající informaci o kolik se musí změnit hodnota měřeného zrychlení, aby došlo ke změně výstupního napětí o 1 V (hodnota g/V). Vše se provádí zvlášť pro každou osu snímání (kanál).[9]

3.2 Magnetometr

Magnetometr je přístroj na měření velikosti a směru magnetické indukce nebo magnetického momentu (tedy magnetizace). Například kompas je jednoduchým příkladem magnetometru.[10]

3.2.1 MEMS magnetometr

Většina MEMS magnetometrů zakládá svoji funkčnost na detekci efektů Lorentzových sil (tedy síla působící na náboj v elektromagnetickém poli)[11]:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) [N]$$

Kde: q : elektrický náboj [C]

\mathbf{E} : intenzita elektrického pole [N.C⁻¹]

\mathbf{v} : rychlost náboje [m.s⁻¹]

\mathbf{B} : magnetická indukce [T]

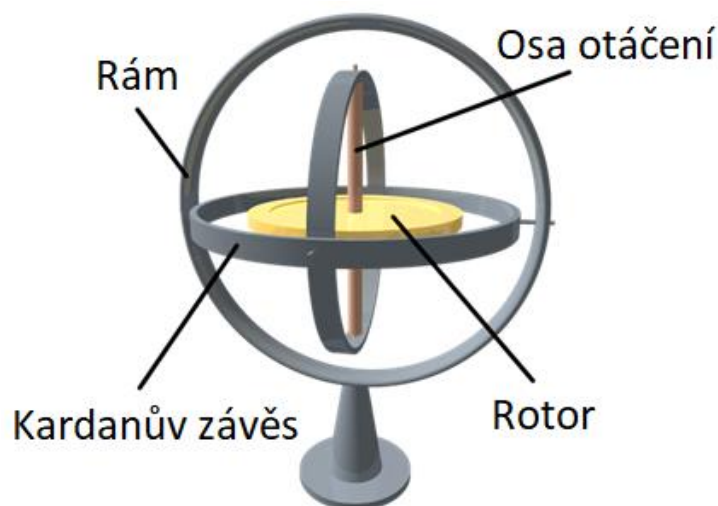
Mechanický pohyb způsobený silou \mathbf{F} je snímán buďto elektronicky nebo opticky.

Teplotní kompenzace je nezbytná, protože s rostoucí teplotou „změkne“ pohyblivá část senzoru, což vede ke změně rezonanční frekvence pohyblivé části. Naprostá většina dnes vyráběných MEMS magnetometrů má v sobě teplotní kompenzaci již zabudovanou.[12]

MEMS magnetometry se typicky vyrábějí s citlivostí ± 2 gauss až ± 16 gauss.[13]

3.3 Gyroskop

Gyroskop, v klasickém smyslu slova, je zařízení přimontované na rámu, schopné měřit úhlovou rychlost za předpokladu, že se rám otáčí. Existuje mnoho gyroskopických přístrojů, zde se však budeme zabývat pouze MEMS gyroskopy.[14]



Obrázek 5 – Gyroskop[15]

3.3.1 MEMS gyroskop

MEMS gyroskopy jsou založeny na snímání frekvence mechanických vibrací. Hmota uvnitř sensoru je ovlivňována Coriolisovou silou v důsledku otáčení úhlovým zrychlením Ω . [16]

Coriolisova síla je setrvačná síla působící na tělesa, která se pohybují v rotující neinerciální vztažné soustavě tak, že se mění jejich vzdálenost od osy otáčení. Coriolisova síla má směr kolmý ke spojnici těleso – osa otáčení a způsobuje stáčení trajektorie tělesa proti směru otáčení soustavy. [17]

3.4 Existující řešení

Na dnešním trhu existuje nepřehledné množství inerciálních senzorů, a to jak jednotlivých, tak i kombinovaných. Například firma STMicroelectronics vyrábí akcelerometry, gyroskopy, e-kompasy (akcelerometr a magnetometr v jednom pouzdře), iNEMO inerciální moduly (kombinace dvou nebo tří výše uvedených senzorů) a mnoho dalších, speciálních senzorů určených například pro automobilový nebo průmysl. [18]

Následující tabulka shrnuje několik vybraných senzorů právě této firmy.

Tabulka 1 - Několik vybraných inerciálních senzorů firmy STMicroelectronics[18]

Zařízení	Typ	Osy	Rozsah A	Rozsah G	Rozsah M	Napájení
IIS2DH	A	x,y,z	$\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g$	-	-	1,71 - 3,6V
H3LIS331DL	A	x,y,z	$100g, \pm 200g, \pm 400g$	-	-	2,16 - 3,6V
L3GD20H	G	yaw,pitch,roll	-	$\pm 2000^\circ/s$	-	2,2 - 3,6V
L2GSIS	G	pitch,roll	-	$\pm 200^\circ/s$	-	1,71 - 3,6V
LSM303AGR	A+M	x,y,z;x,y,z	$\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g$	-	50gauss	1,71 - 3,6V
LSM303D	A+M	x,y,z;x,y,z	$\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g$	-	12gauss	2,16 - 3,6V
LSM6DSO	A+G	x,y,z;yaw,pitch,roll	$\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g$	$\pm 2000^\circ/s$	-	1,71 - 3,6V
LSM9DS1	A+G+M	x,y,z;yaw,pitch,roll;x,y,z	$\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g$	$\pm 2000^\circ/s$	16gauss	1,9 - 3,6V

Protože tato práce slouží jako výzkumná a dále budou prováděna experimentální měření, bude vhodné do navrženého systému zabudovat všechny tři typy senzorů (akcelerometr, magnetometr i gyroskop). Až na základě měření se rozhodne, zda ve finálním produktu budou všechny tři typy senzorů nutné. Z důvodů minimalizace bude vhodné zvolit modul, který v sobě integruje všechny tři senzory, přičemž všechny budou měřit ve všech třech osách. Jako nejvhodnější se tedy zdá modul LSM9DS1 z kategorie inerciálních iNEMO modulů. Jeho základní vlastnosti jsou popsány v následující tabulce:

Tabulka 2 - Základní vlastnosti modulu LSM9DS1[19]

Pouzdro	LGA-24L
Kanály akcelerometr	3
Kanály magnetometr	3
Kanály gyroskop	3
Rozsah akcelerometr	$\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16 g$
Rozsah magnetometr	$\pm 4/\pm 8/\pm 12/\pm 16 gauss$
Rozsah gyroskop	$\pm 245/\pm 500/\pm 2000 \text{ }^\circ/s$
Šířka výstupu	16b
Digitální rozhraní	SPI, I ² C
Napájení	1,9 – 3,6 V
Spotřeba	1,9 mA ³
Provozní teplota	-40 – 85 °C

³ Uváděno datasheetem při „always-on“ eco power mode

4 POUŽITÝ HARDWARE

Modul LSM9DS1 je systém na čipu, který dokáže vygenerovat přerušeni při překročení určité prahové hodnoty. To však pro detekci napadení není dostačující funkčnost. Proto je zapotřebí použití mikroprocesoru, který po nějaký čas sbírá data ze senzoru a až zpětně s nimi provede výpočty a případně spustí alarm při splnění nastavených kritérií.

Pro tyto účely byl použit procesor ARM Cortex od výrobce STMicroelectronics řady STM32F0. Procesor je osazen na centrální jednotce, odkud řídí celý systém. Centrální jednotka kromě procesoru obsahuje několik periférií pro interakci s uživatelem – LCD displej, tlačítka, LED diody a BTLE modul pro komunikaci s chytrým telefonem s OS Android. K centrální jednotce je pak ještě pomocí I²C sběrnice připojena senzorická deska pro upevnění přímo na zámkovou vložku. Sensorická deska je osazena pouze LSM9DS1 inerciálním modulem a několika dalšími SMD součástkami, nezbytnými pro správnou funkci modulu.

4.1 STM32F0C8T6

Procesory řady STM32 jsou 32 bitové mikroprocesory založené na ARM Cortex-M procesoru. Procesory s označením F0 se řadí do jedné z nejnižších výkonových tříd všech STM32 procesorů. Pro tuto aplikaci je však plně dostačující. Zvolen byl hlavně z důvodu většího počtu GPIO pinů oproti jiným F0 procesorům a také kvůli dvěma UART rozhraním, která jsou obě využívána. V následující tabulce je výčet několika základních vlastností tohoto procesoru.

Tabulka 3 - Základní vlastnosti STM32F0C8T6 procesoru[20]

Flash paměť	64 kB
RAM	8 kB
Frekvence jádra	48 MHz
GPIO	39x
UART	2x
I ² C	2x
SPI	2x
Timer	7x

4.2 LSM9DS1

LSM9DS1 od firmy STMicroelectronics je inerciální modul kombinující akcelerometr, magnetometr a gyroskop. Tento integrovaný obvod byl zvolen z důvodu minimalizace, v opačném případě by muselo být na desce osazeno více integrovaných obvodů.

LSM9DS1 komunikuje s mikroprocesorem buď po SPI nebo I²C sběrnici. V tomto případě byla zvolena I²C, opět z důvodu minimalizace – SPI totiž využívá čtyři vodiče (MISO, MOSI, SCK a CS) pro jedno slave⁴ zařízení, což by v tomto případě vedlo k potřebě pěti vodičů kvůli dvěma CS signálům – jeden pro magnetometr a druhý pro akcelerometr + gyroskop. Na druhé straně I²C využívá vodiče pouze dva – SDA a SCL a slave zařízení se vybírá jeho adresou.

Modul se vyrábí v pouzdře LGA-24L.

4.3 RN4020

Pro komunikaci s chytrým telefonem byla zvolena technologie BTLE. Dosah BTLE je až 100 metrů, což je pro tuto aplikaci zcela dostačující a oproti jiným technologiím (např. Wi-Fi) i disponuje nižší spotřebou.

RN4020 je Bluetooth Low Energy 4.1 modul od firmy Microchip. Výhodou tohoto modulu je, že v jednom pouzdře integruje BTLE radiovou část, mikroprocesor a příkazový API procesor. Jedná se tedy o systém na čipu, který se ovládá pomocí ASCII příkazů přes UART, což velice zjednodušuje celý vývoj.[21]

Další výhodou RN4020 modulu je jednoduchá montáž na DPS.

⁴ Centrální jednotka s STM32 procesorem se chová jako master a magnetometr a akcelerometr + gyroskop jako slave



Obrázek 6 - RN4020 modul

4.4 LCD 16x2

Pro zobrazování informací uživateli slouží jednoduchý standardní alfanumerický LCD displej založený na HD44780 integrovaném obvodu. Displej slouží pro zobrazení aktuálního stavu zařízení (deaktivováno, měření výchozích hodnot, detekce) a během aktivní detekce pak zobrazuje hodnoty naměřené akcelerometrem a gyroskopem. Displej je řízen 4-bitově.



Obrázek 7 - 16x2 LCD displej

5 POUŽITÁ KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ

Celý systém využívá dva druhy standardních sběrnic – UART a I²C. Jeden UART pro komunikaci mezi STM32 procesorem a RN4020 BTLE modulem, druhý UART je vyveden na GPIO header a slouží pro sběr a zpracování dat v PC. I²C sběrnice slouží pro komunikaci mezi

STM32 procesorem a LSM9DS1 inerciálním modulem. Pro bezdrátovou komunikaci s chytrým telefonem je použit Bluetooth Low Energy 4.1. Ostatní interakce (displej, LED diody, tlačítka) jsou pak už řešeny přes GPIO.

5.1 UART

Oba používané UARTy mají stejnou konfiguraci:

Tabulka 4 - UART konfigurace

Parametr	Hodnota
Baud Rate	115200
Datové bity	8
Parita	Žádná
Stop bity	1
Řízení toku	Žádné

5.2 I²C

I²C sběrnice je v konfiguraci jeden master a dvě slave zařízení. Funkci master zařízení zastupuje mikroprocesor STM32 a dvě slave zařízení jsou akcelerometr+gyroskop (adresa 0x6B) a magnetometr (adresa 0x1E). Sběrnice je nakonfigurována na rychlost 100 kHz.

5.3 BTLE

BTLE je protokol bezdrátového přenosu informace na frekvenci 2,4 GHz.

V kontrastu s klasickým Bluetooth, Bluetooth 4.0 Low Energy (BTLE) je koncipován pro nízkou spotřebu. BTLE je přizpůsobený pro aplikace, v nichž se přenáší malý objem dat. BTLE se hojně využívá ve zdravotních aplikacích, jako například monitoring srdečního tepu a fitness. Dále se využívá například v aplikacích užívaných pro zabezpečení objektu.

BTLE není zpětně kompatibilní s „klasickým“ Bluetooth.

5.3.1 Terminologie a základní koncept

5.3.1.1 GATT

GATT profil je obecná specifikace pro posílání a přijímání krátkých kusů dat, tzv. atribut. Je nadefinováno mnoho profilů například pro monitoring srdečního tepu nebo pro detekci stavu baterie.

5.3.1.2 ATT

ATT je podvrstvou GATT profilu. Definuje UUID atribut, což je jedinečné 128 bitové ID každé atributy.

5.3.1.3 Klient

Zařízení, které iniciuje GATT příkazy a požadavky a přijímá na ně odpověď.

5.3.1.4 Server

Zařízení, které přijímá GATT příkazy a požadavky a odpovídá na ně.

5.3.1.5 Charakteristika

Informace vyměňována mezi klientem a serverem.

5.3.1.6 Služba

Soubor souvisejících charakteristik, které tvoří jeden celek.

5.3.1.7 Deskriptor

Poskytuje doplňující informace o charakteristice.[22]

Síť Bluetooth je master-slave (server-klient).

Zde použitý modul RN4020 v sobě ještě navíc obsahuje MLDP protokol, který data přijatá na UARTu rovnou odešle přes BTLE ven a není potřeba dalších obslužných příkazů, což velice zjednodušuje vývoj.

6 POPIS FUNKCE CELÉHO SYSTÉMU

System má dva funkční režimy, mezi kterými se přepíná jumperem na pinu PB9. Uzemněný pin PB9 znamená režim měření a uvolněný pin znamená režim detekce.

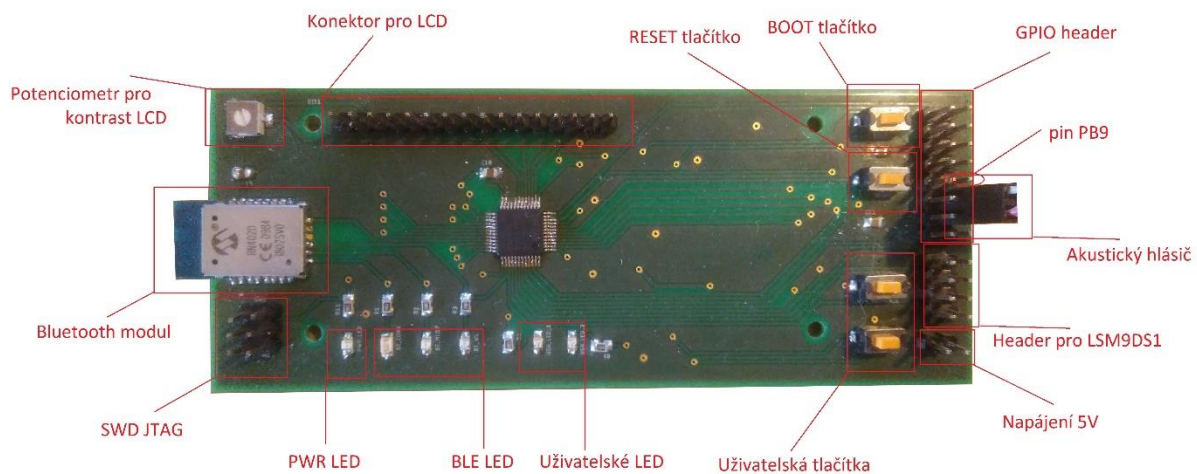
6.1 Režim měření

1. Uživatel propojí zařízení s PC pomocí UARTu.
2. Po spuštění programu na zpracování dat systém dostane pokyn pro start měření.
3. Po dokončení měření se v programu pro zpracování dat vykreslí grafy naměřených hodnot.

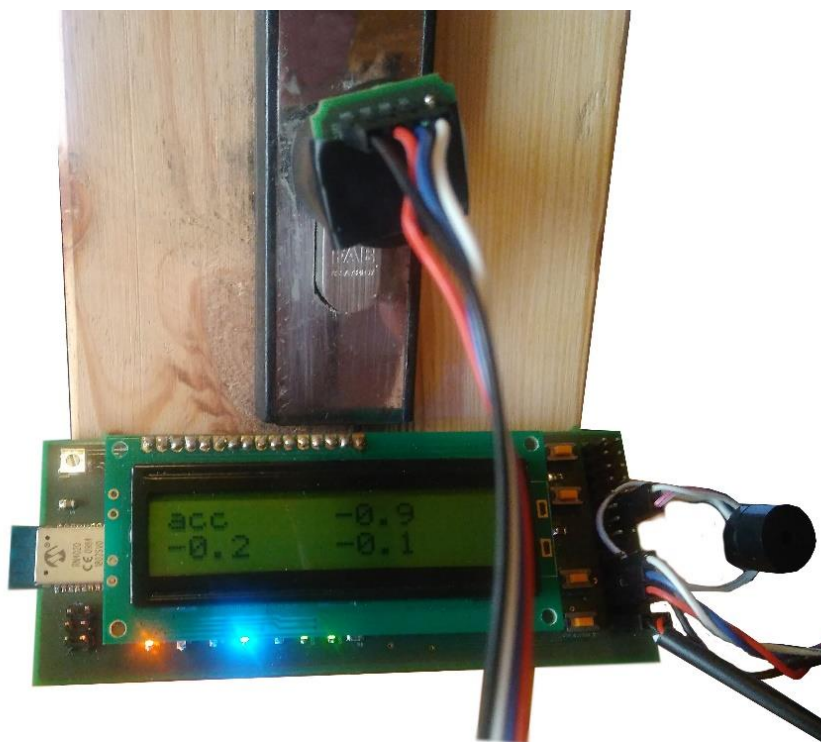
6.2 Režim detekce

1. Nejprve se senzorická deska namontuje na knoflík od zámku do výchozí polohy (tedy zavřené dveře a cylindr zámku ve vertikální poloze).
2. Uživatel stiskne a drží tlačítko `USR_BUTTON_2` a zapne napájení.
3. Na LCD displeji se zobrazí „měření...“, což indikuje, že systém měří výchozí hodnoty. Po dokončení měření systém třikrát zapípá.⁵
4. Uživatel pustí tlačítko `USR_BUTTON_2` a celý systém se nyní nachází ve stavu aktivní detekce.
5. Na displeji se nyní zobrazují aktuální hodnoty zrychlení v násobcích g . Pokud uživatel stiskne a drží tlačítko `USR_BUTTON_1`, na displeji se zobrazují hodnoty úhlové rychlosti v $^{\circ}/s$.
6. Uživatel má možnost celý systém deaktivovat pomocí tlačítka „Deaktivovat“ v obslužné aplikaci pro OS Android. Pro opětovnou aktivaci stiskne tlačítko „Aktivovat“.
7. Pokud dojde ke spuštění alarmu, uživatel má možnost ho vypnout pomocí tlačítka „Vypnout alarm“ v obslužné aplikaci pro OS Android, čímž pouze vypne alarm, avšak systém pokračuje dále v měření a detekci. Případně může uživatel opět celý systém vypnout pomocí tlačítka „Deaktivovat“.

⁵ Kroky 2 a 3 se provádějí pouze při prvním spuštění



Obrázek 8 - Popis centrální jednotky se sejmutým LCD



Obrázek 9 - Celý systém se senzorem umístěným na knoflíku zámkové vložky

7 HARDWAROVÁ REALIZACE

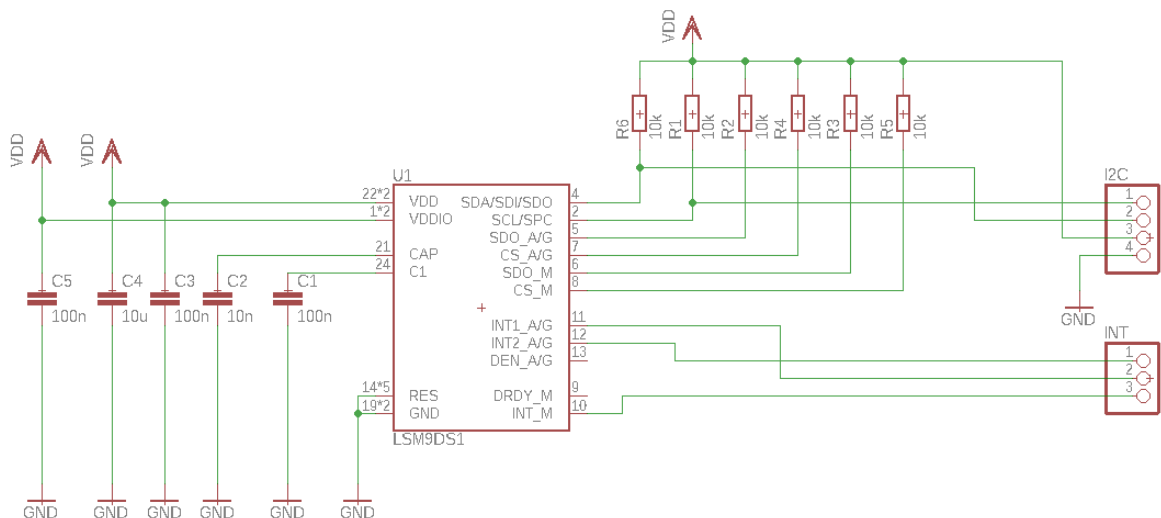
Celý systém se skládá ze dvou částí – jedna miniaturní destička se senzorem určená k umístění přímo na zámkovou vložku a druhá, větší, centrální jednotka s řídicím procesorem a uživatelským rozhraním. Obě desky jsou propojeny pomocí I²C sběrnice.

Návrh DPS byl realizován v softwaru Eagle firmy Autodesk.

7.1 Senzorická deska

Aby bylo destičku možné umístit na čelní stranu knoflíku zámkové vložky, je třeba dbát na minimalizaci rozměrů. Z tohoto důvodu je na sensorické desce umístěn pouze LSM9DS1 modul a několik SMD rezistorů a kondenzátorů ve velikosti 0603, nezbytných pro správnou funkci modulu.

7.1.1 Schéma zapojení



Obrázek 10 - Schéma zapojení sensorické desky s LSM9DS1

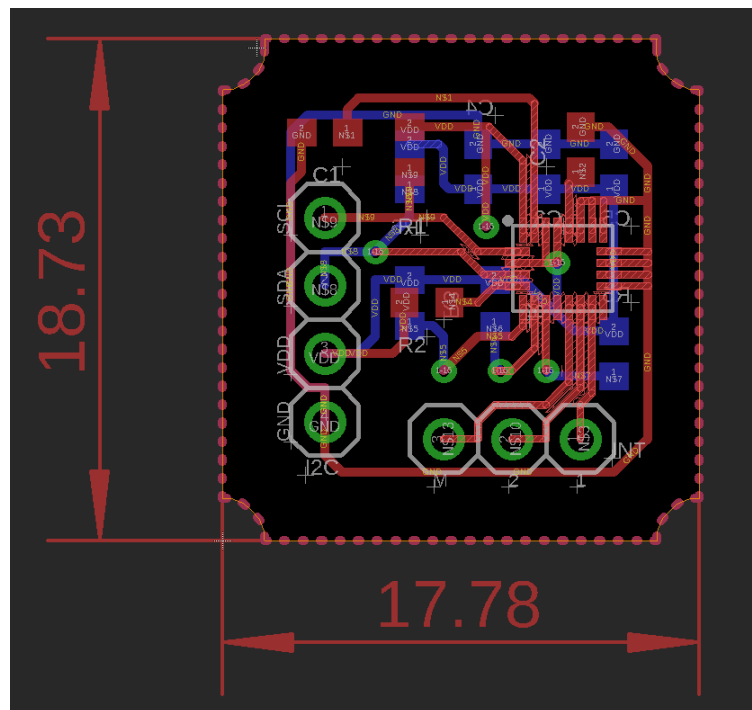
Kondenzátory C1 až C5 slouží jako filtrační členy. Rezistory R1 a R6 jsou nezbytné pro funkci I²C sběrnice (pull-up rezistory), rezistory R2 a R3 slouží pro přitažení pinů SDO_A/G a SDO_M k napájecímu napětí a tím zvolení I²C adres jednotlivých senzorů, a nakonec rezistory R4 a R5 slouží pro přitažení pinů CS_A/G a CS_M k napájecímu napětí, čímž se zvolí druh komunikace – tedy I²C.

Dále jsou z desky vyvedeny dva konektory – čtyř pinový, označený I²C, sloužící pro připojení napájení a I²C sběrnice a druhý tří pinový, označený INT, sloužící pro přerušení generované senzory.

7.1.2 Návrh DPS

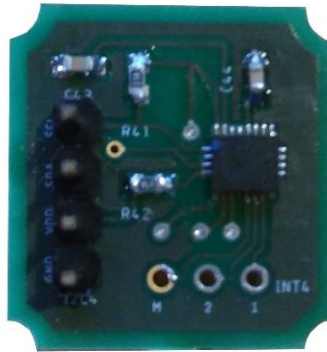
DPS je navrhována ve dvou vrstvách. Destička neobsahuje obvod pro napájení. Je napájena 3,3V z centrální jednotky přes konektor s označením I2C

Celé zařízení se na knoflík připevní pomocí čtyř M3 šroubů, pro které jsou určeny výřezy v rozích DPS.



Obrázek 11 - Návrh DPS senzorické desky s LSM9DS1

7.1.3 Finální výrobek

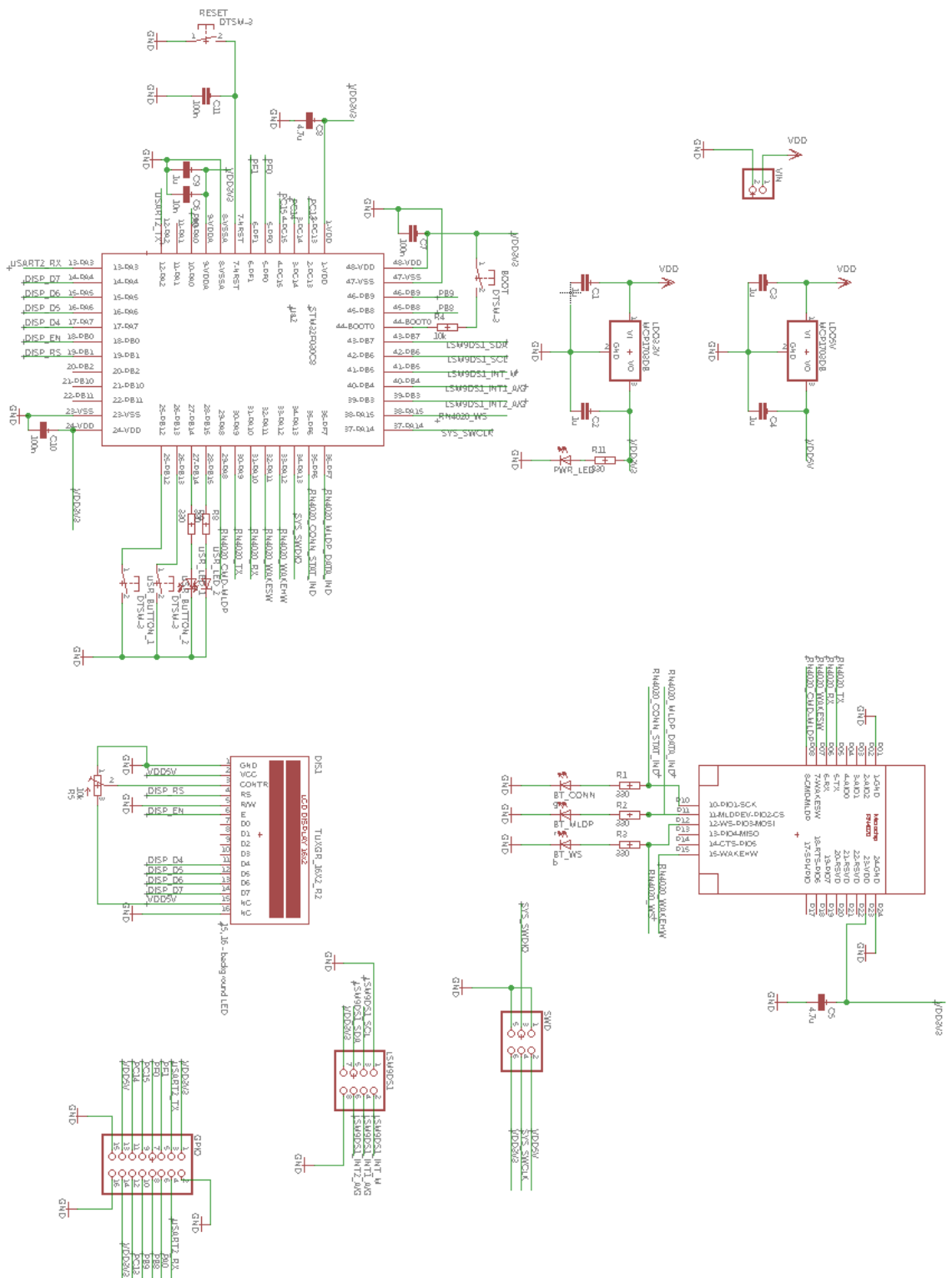


Obrázek 12 – Finální výrobek senzorické desky s LSM9DS1

7.2 Centrální jednotka

Centrální jednotka obsahuje vše ostatní nezbytné pro provoz a obsluhu celého systému. Jádrem je procesor STM32F0, dále jsou na desce čtyři tlačítka (Boot, Reset a dvě uživatelská), šest LED diod (napájení, tři pro Bluetooth a dvě uživatelské), pět konektorů (napájení, SWD, LSM9DS1, GPIO header a konektor pro připojení LCD), LCD a Bluetooth modul. Dále několik doplňujících SMD součástek: kondenzátory a rezistory ve velikosti 0805, napěťové regulátory na 3,3V a 5V a potenciometr.

7.2.1 Schéma zapojení

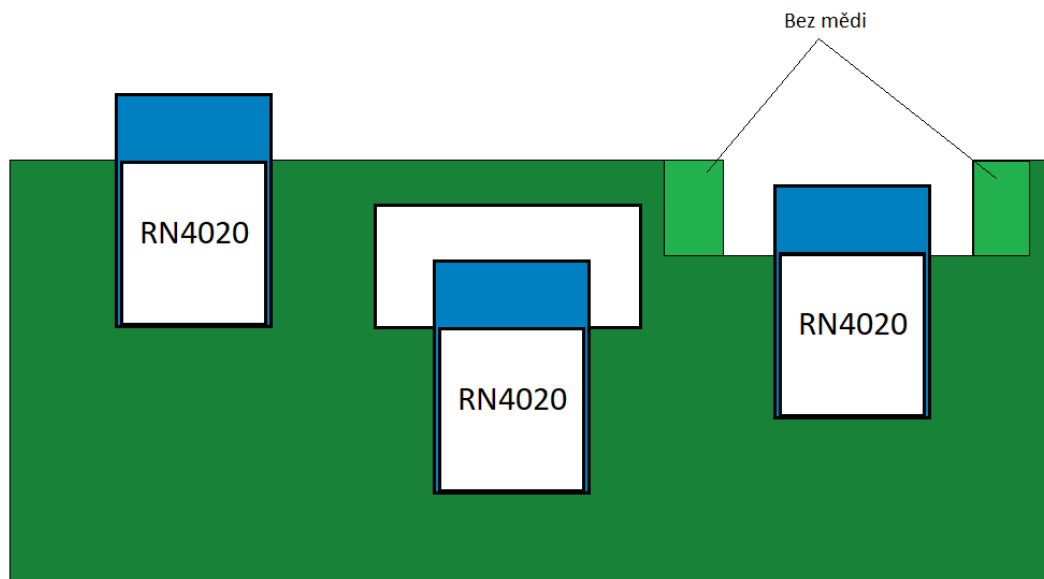


Obrázek 13 - Schéma zapojení centrální jednotky

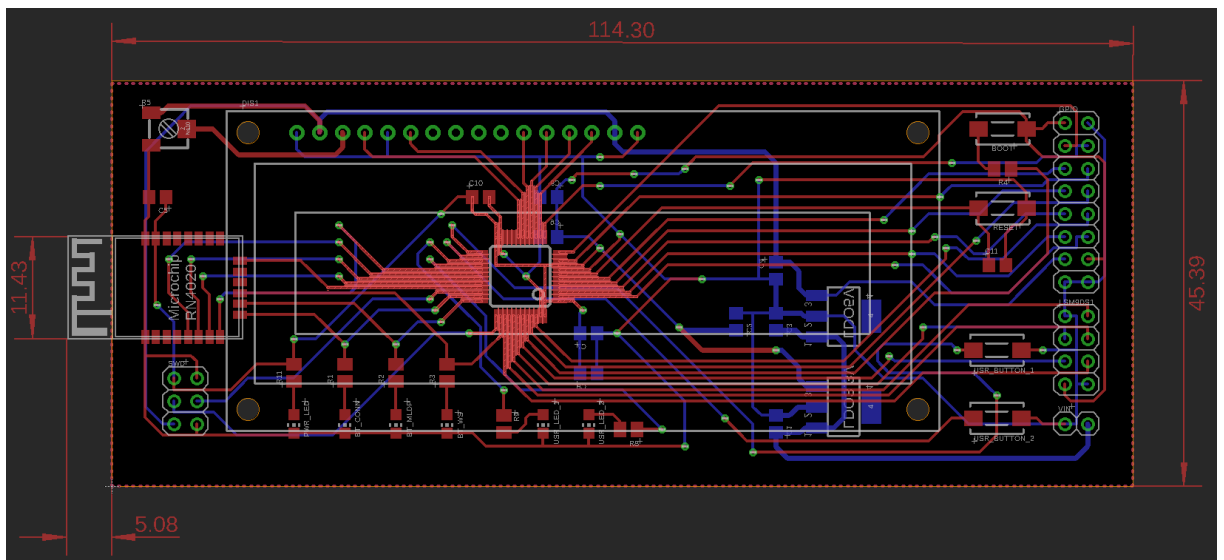
7.2.2 Návrh DPS

DPS je opět navrhována ve dvou vrstvách. Jelikož největší periferií centrální jednotky je LCD displej, rozměry byly přizpůsobeny právě jemu. Procesor se nachází na vrchní vrstvě pod LCD. Vlevo na vrchní vrstvě je SWD konektor pro přeprogramování a debugování procesoru, BTLE modul, jehož anténní část musí přesahovat mimo vylitý zemnicí vodič, aby nedocházelo ke stínění signálu (viz. obrázek 14). V levém horním rohu je umístěn potenciometr pro regulaci kontrastu LCD. Pravá část horní vrstvy obsahuje konektor pro napájení (5V až 16V), konektor pro připojení senzorické destičky, GPIO header s volnými GPIO piny a UARTem a čtyři tlačítka – dvě uživatelská, RESET a BOOT. Všechny LED diody (PWR, BTLE, uživatelské) jsou umístěny dole, u spodní hrany LCD. Spodní vrstva obsahuje napájecí obvod – dva stabilizátory napětí (3,3V a 5V) a několik kondenzátorů.

LCD displej je napájen 5V, zbytek zařízení 3,3V.

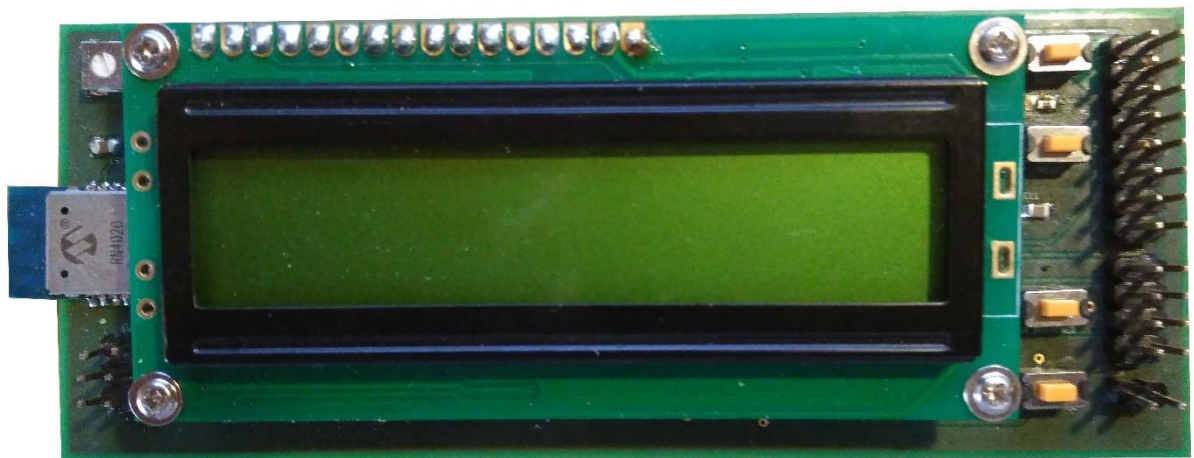


Obrázek 14 - Vhodné umístění RN4020 modulu na DPS



Obrázek 15 - Návrh DPS centrální jednotky

7.2.3 Finální výrobek

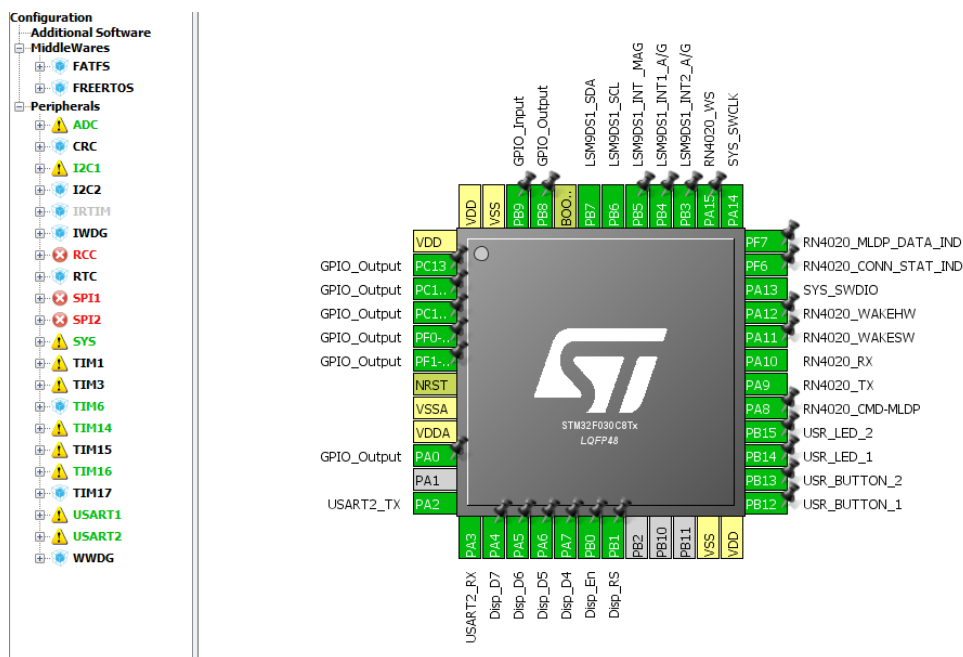


Obrázek 16 - Finální výrobek centrální jednotky

8 SOFTWAREVÁ REALIZACE

8.1 Mikroprocesor

Mikroprocesor je programovaný v jazyce C za pomoci Keil IDE. Základ kódu byl vygenerován pomocí nástroje STM32CubeMX, což je program od firmy STMicroelectronics, který za uživatele provede inicializaci všech portů a periférií na procesoru. STM32CubeMX ve vygenerovaném kódu používá HAL knihovny, takže celý obslužný software je na těchto knihovnách také stavěn. HAL knihovny umožňují programátorovi co nejvíce abstrahovat od detailní práce s perifériemi. Práce s perifériemi je tedy touto cestou snazší, avšak ne vždy nejefektivnější (na rozdíl od nízko úrovněových či standardních knihoven).



Obrázek 17 - Nastavení všech periférií procesoru v programu SMT32CubeMX

8.1.1 Algoritmus

Celý program má dva režimy – režim měření a režim detekce, mezi kterými se přepíná pomocí pinu PB9 na GPIO headeru. Ve výchozím stavu se systém nachází v módu detekce a uzemněním pinu PB9 při spuštění zařízení se přejde do módu měření. Snímání dat je pro oba režimy identické. Akcelerometr a gyroskop posílají data s frekvencí 59,5 Hz a magnetometr s frekvencí 40 Hz. Tato data jsou snímána vzorkovacím signálem s frekvencí 120 Hz, který je

generován uvnitř procesoru pomocí časovače/čítače. LSM9DS1 posílá hodnoty z jedné osy jako jedno 16ti bitové číslo se znaménkem rozděleno do dvou 8mi bitových hodnot – to po jednom měření dává 18 bajtů (tři senzory po třech osách, každá po dvou bajtech – $3 \times 3 \times 2 = 18$). Data se pak ukládají do bufferu o velikosti 5400 B (tedy vejde se do něj 300 měření), se kterým je pak naloženo podle nastaveného režimu programu.

Jelikož k vyhodnocení napadení je někdy zapotřebí i několikasekundový úsek měření, musely být zvoleny relativně nižší frekvence. Procesor má totiž pouze 8 kB RAM a samotný buffer na ukládání dat má 5,27 kB. Se vzorkovací frekvencí 120 Hz se do něj tedy vejde 2,5 s záznamu. Zvětšit buffer nelze z důvodu limitu procesoru a zvýšení vzorkovací frekvence by vedlo k rychlejšímu naplnění bufferu – znamenalo by to tedy nedostatečný časový úsek pro detekci napadení.

8.1.1.1 Režim měření

Program v režimu měření ve výchozím stavu čeká v nekonečné smyčce na pokyn od programu na zpracování dat k zahájení měření. Jakmile dostane pokyn, spustí časovač/čítač a začne s vyčítáním dat. Po naplnění bufferu 300 měřeními ho odešle přes UART do programu na zpracování dat. Toto se provede 3x bezprostředně za sebou. Ve výsledku tedy pak máme k dispozici 7,5s záznamu. Po dokončení třetího měření se časovač/čítač opět deaktivuje a program čeká na další pokyny.

8.1.1.2 Režim detekce

V režimu detekce, po inicializaci všech periférií, program vyčte z EEPROM dříve uložené výchozí hodnoty (nebo je přepíše novými, je-li stisknuté tlačítko `USR_BUTTON_2`), které jsou pak používány jako reference k detekci napadení. Na rozdíl od režimu měření se časovač/čítač spustí ihned a začíná naplňovat buffer naměřenými hodnotami. Po naplnění bufferu 300 měřeními program zastaví časovač/čítač a předá buffer do detekčních funkcí. Dojde-li k splnění nastavených kritérií detekce napadení, spustí alarm (akustický a světelný). Pokud kritéria detekce napadení nejsou splněna, buffer se vyprázdní, spustí se znovu časovač/čítač a pokračuje se v měření.

V režimu detekce je možné zařízení ovládat přes chytrý telefon, a to tak, že se buď vypne spuštěný alarm nebo se celé zařízení deaktivuje/aktivuje.

Během tohoto režimu se na LCD zobrazují průběžně hodnoty zrychlení a úhlové rychlosti.

8.1.1.3 Inicializace

Inicializace HAL, hodin, GPIO, ADC, I²C a UART je již pro uživatele vygenerována a provedena kódem z nástroje STM32CubeMX.

V inicializaci LCD se nastaví obslužné piny a rozlišení displeje (zde 16x2).

Ve funkci pro inicializaci LSM9DS1 se zapnou všechny tři senzory na čipu, 59,5 Hz frekvence pro akcelerometr s ± 4 g rozsahem, 40 Hz v frekvence pro magnetometr s ± 4 gauss rozsahem a konečně 59,5 Hz frekvence pro gyroskop s ± 500 °/s rozsahem.

BTLE modul se inicializuje tímto způsobem: přivedení log. 1 na piny WAKE_SW a WAKE_HW pro aktivaci modulu a log. 0 na pin CMD/MLDP, čímž se spustí MLDP mód. Celý RN4020 modul je potřeba předem nakonfigurovat AT příkazem SR,<bitmapa>. Přehled nastavení bitmapy je uveden v uživatelském manuálu na stranách 29 a 30.[23] V tomto případě bitmapa vypadá takto:

```
SR,90002800
```

Tedy, funkce server (*0x80000000*), povolit MLDP (*0x10000000*), zakázat klientské funkce (*0x00002000*) a automatické vstoupení do MLDP módu po připojení (*0x00000800*).

Nakonec provedeme odemčení FLASH paměti a inicializaci emulované EEPROM

8.1.1.3.1 Emulovaná EEPROM

EEPROM je druh nevolatilní⁶ programovatelné paměti.

Aby se z důvodu ceny a minimalizace nemusela používat externí EEPROM paměť, STM32F0 umožňuje emulování EEPROM pomocí Flash paměti přímo na čipu pomocí speciálního algoritmu.

Emulace je dosažena použitím nejméně dvou stránek v interní Flash paměti. Program swapuje data mezi stránkami vždy, když se naplní.[24]

Hlavní rozdíly mezi externí a emulovanou EEPROM pamětí jsou uvedeny v následující tabulce:

⁶ Uchovává si svá data i po odpojení napájení

Tabulka 5 - Hlavní rozdíly mezi externí a emulovanou EEPROM[24]

Operace	Externí EEPROM	Emulovaná EEPROM
Čas zápisu	Náhodný bajt: 5 ms Slovo ⁷ : 20 ms Stránka (32 B): 5 ms Slovo: 625 μs	Půl slova: 124 μs až 26 ms
Čas mazání	Žádný (nemusí se mazat)	20 ms až 40 ms
Metoda zápisu	Nezávisí na CPU	Závisí na CPU (dojde-li k re-startu zařízení během zápisu, algoritmus emulované EEPROM se přeruší, ale aktuální zápisová operace se dokončí) Zápis buď po půl slovech nebo slovech.
Přístup – čtení	Sériově: stovky μs Náhodné slovo: 92 μs Stránka: 22,5 μs na bajt	Půl slova: 3,8 μs až 110 μs
Počet zápisových/mazacích cyklů	1 000 000 (zápisů)	10 kilocyklů na stránku

Pro realizaci byla použita aplikace přímo od STM s názvem „EEPROM emulation in STM32F0xx microcontrollers“

8.1.1.4 Vyčtení aktuálních měřených hodnot a jejich uložení

Je-li při startu stisknuto tlačítko `USR_BUTTON_2`, program vstoupí do této funkce. Funkce provede 100 měření na všech třech senzorech, tyto hodnoty zprůměruje a uloží do EEPROM. Jedná se o výchozí hodnoty, které potom při detekci napadení slouží jako reference. Je tedy nutné toto měření provádět v klidu a se zámkovou vložkou ve výchozí poloze.

⁷ 32 bitů

Úspěšné naměření výchozích hodnot a jejich uložení je uživateli indikováno třemi zapípními.

8.1.1.5 Vyčtení výchozích hodnot z EEPROM

Program přečte uložené výchozí hodnoty z EEPROM a uloží je do referenčních proměnných, které budou dále využívány pro porovnávání aktuálních hodnot při detekci.

8.1.1.6 Zkontrolování příchozích dat od Bluetooth

Vedle výčtu hodnot ze sensorů, které se provádí pomocí časovače/čítače, se program ještě nachází v nekonečné smyčce kontroly příchozích dat od BTLE modulu. Pokud přijme jeden ze tří řídicích znaků (ASCII znaky *X*, *Y* nebo *Z*), deaktivuje alarm (*X*), deaktivuje celé zařízení (*Y*) nebo celé zařízení opět aktivuje (*Z*).

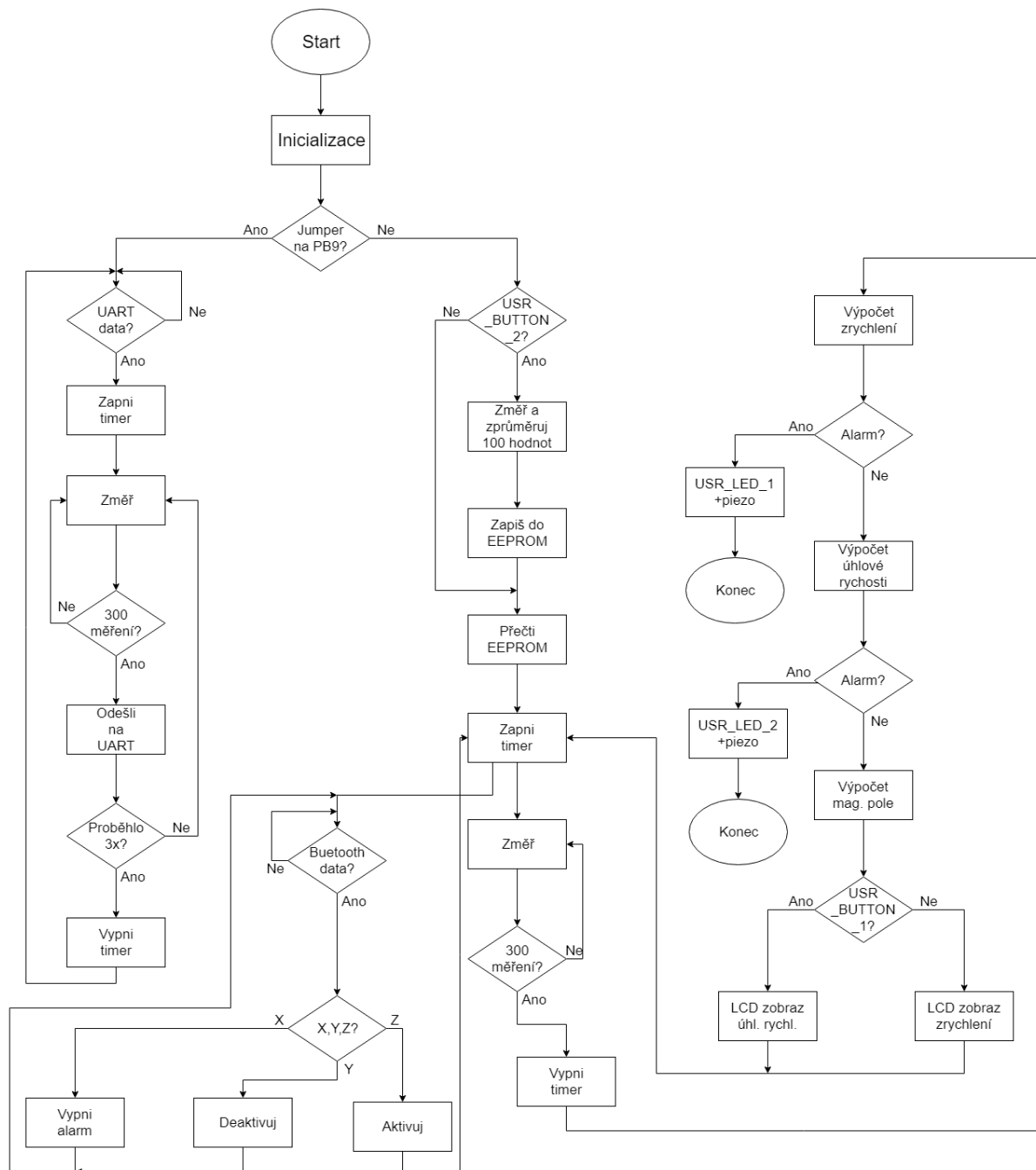
8.1.1.7 Vyčtení naměřených dat z LSM9DS1 a jejich výpočet

Po inicializaci senzoru se spustí časovač/čítač TIM6 s nastavenou frekvencí 120 Hz. Při každém překlopení časovače/čítače dojde ke spuštění měřicí rutiny, která vyčte aktuální hodnoty ze všech tří os všech tří sensorů a uloží je do bufferu. Po naplnění bufferu 5400 bajty se celý buffer předá do detekčních funkcí (detailnější popis dále). Pokud v detekčních funkcích nedošlo ke spuštění alarmu, celý proces měření se opakuje.

8.1.1.8 Zobrazení na LCD

Ke zobrazení informace na LCD dojde vždy po dokončení jednoho měřicího kroku – tedy jednou za 2,5 s. Na displeji se zobrazí aktuální hodnoty zrychlení nebo úhlové rychlosti – tedy ty, které byly do bufferu zapsány jako poslední.

Pokud není stisknuté tlačítko `USR_BUTTON_1`, na displeji se vypíše hodnoty zrychlení v násobcích *g* ze všech tří os. Při stisknutém tlačítku `USR_BUTTON_1` se na displeji zobrazí hodnoty úhlové rychlosti ve $^{\circ}/s$ ze všech tří os.



Obrázek 18 - STM32 program - vývojový diagram⁸

⁸ Vývojový diagram navržen a vygenerován pomocí on-line nástroje na <https://www.draw.io>

8.2 Výčet a zpracování dat

Hlavní program naměřená data posílá pře UART do PC, kde běží obslužný program psaný v jazyce MATLAB.

Měření je započato spuštěním tohoto programu, který přes UART pošle do procesoru pokyn k začátku měření. Po přijetí 900 měření (16200 B) se data pomocí bitových operací složí do dvoubajtových hodnot reprezentujících jednotlivá měření z jednotlivých os, ze kterých jsou pak vykresleny grafy.

Uživatel má možnost přímo z programu pro zpracování dat měnit měřící rozsahy senzorů a to změnou proměnné „rozlišení“ na jeden z následujících ASCII znaků:

- a – zachovat základní konfiguraci (± 500 °/s, ± 4 g, 4 gauss)
- b – ± 245 °/s, ± 2 g, ± 4 gauss
- c – ± 2000 °/s, ± 8 g, ± 4 gauss

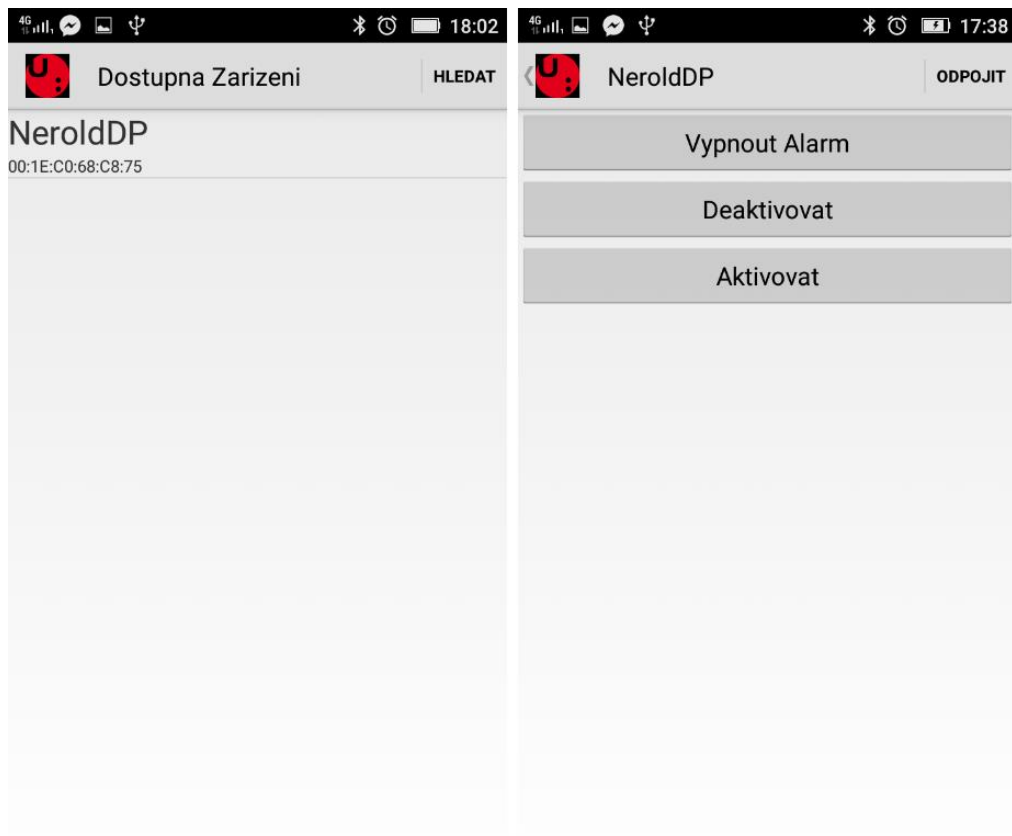
8.3 Obslužná aplikace pro OS Android

Aplikace je psaná v jazyce Java pomocí IDE Android Studio. Jako šablona posloužil příklad od společnosti Google s názvem Bluetooth Le Gatt. Aplikace je koncipována jako GATT server, tedy je zodpovědná za vyhledávání a připojení se k zařízení.

Aplikace nebude fungovat na zařízeních s verzí Android nižší než 4.3, protože API pro tyto starší verze neobsahují platformu pro obsluhu BTLE zařízení.

Nebude použitelná ani na zařízeních bez BTLE.[22]

Aplikace má jednoduchou úlohu, a to připojit se k detekčnímu systému přes BTLE a pomocí tlačítek vypnout alarm nebo deaktivovat a aktivovat celý systém.



Obrázek 19 – Obslužná aplikace pro OS Android

Na domovské stránce (na obrázku vlevo) se zobrazí dostupná zařízení. V tomto případě zařízení s názvem NeroldDP je navržený detekční systém. Klepnutím na název zařízení dojde k připojení k detekčnímu systému přes BTLE a v aplikaci se otevře obrazovka ovládacího panelu (na obrázku vpravo). V ovládacím panelu má pak uživatel možnost zařízení deaktivovat nebo aktivovat nebo popřípadě jen vypnout spuštěný alarm.

9 NAMĚŘENÁ DATA

9.1 Postup měření

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2, systém musí být schopen detekovat všechny druhy napadení. Jedná se hlavně tedy o odemykání (otáčení) zámku a vibrace. Pokud obě tyto metody selžou, je ještě potřeba detekovat, že dochází k otevírání dveří, popřípadě, že dveře jsou už otevřené.

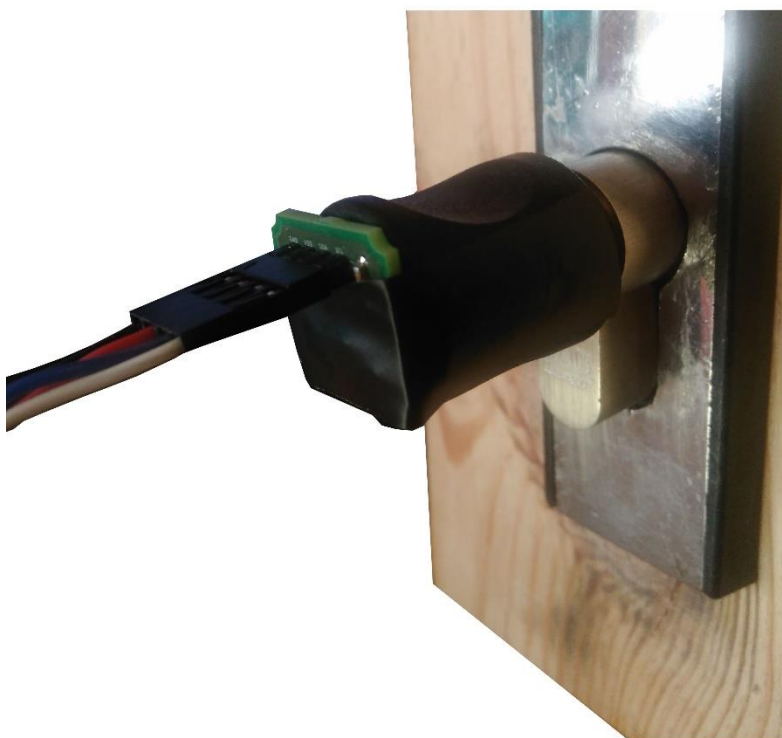
Byla tedy provedena série několika měření, během nichž bylo simulováno:

- Otáčení zámkem - senzor upevněn na knoflíku cylindrické vložky a cylindrická vložka upevněna na stole v měřícím přípravku
- Vibrace – senzor opět upevněn v přípravku na stole, vibrace simulovány vrtáním do přípravku
- Otevření dveří – senzor připevněn na dveře

Měření proběhla pro různé rozsahy senzorů.



Obrázek 20 - Přípravek pro měření

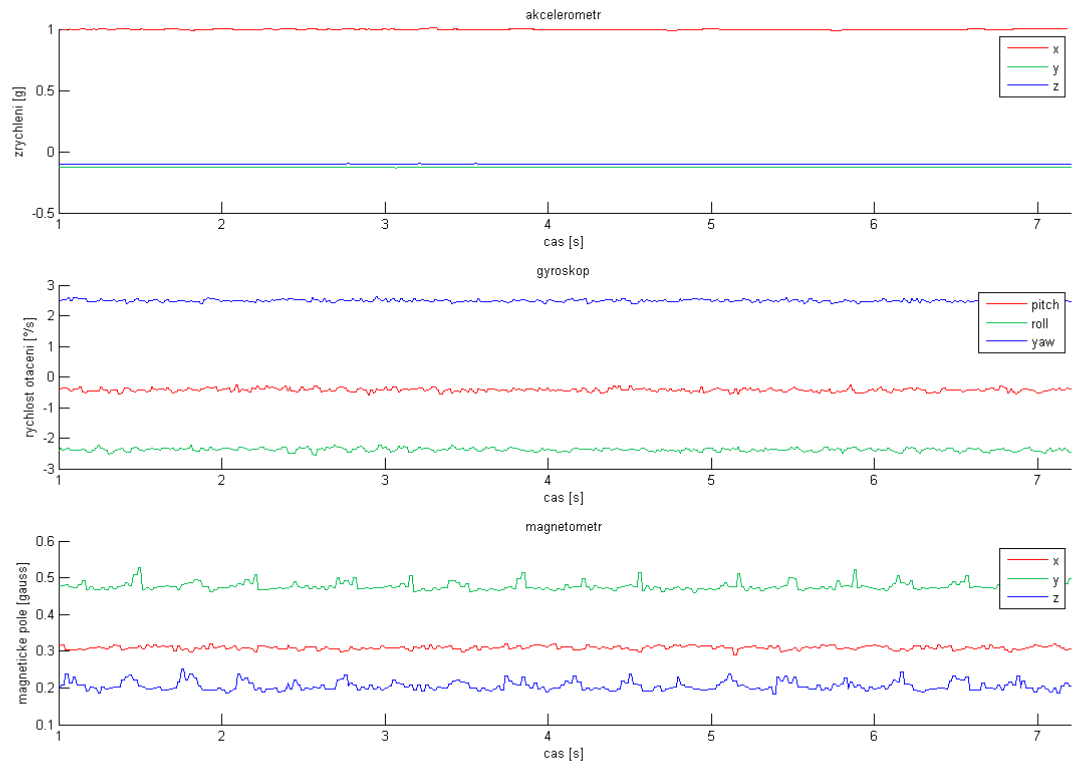


Obrázek 21 - Přípravek pro měření - detail

9.2 Grafy naměřených hodnot

9.2.1 ± 245 °/s, ± 2 g, ± 4 gauss

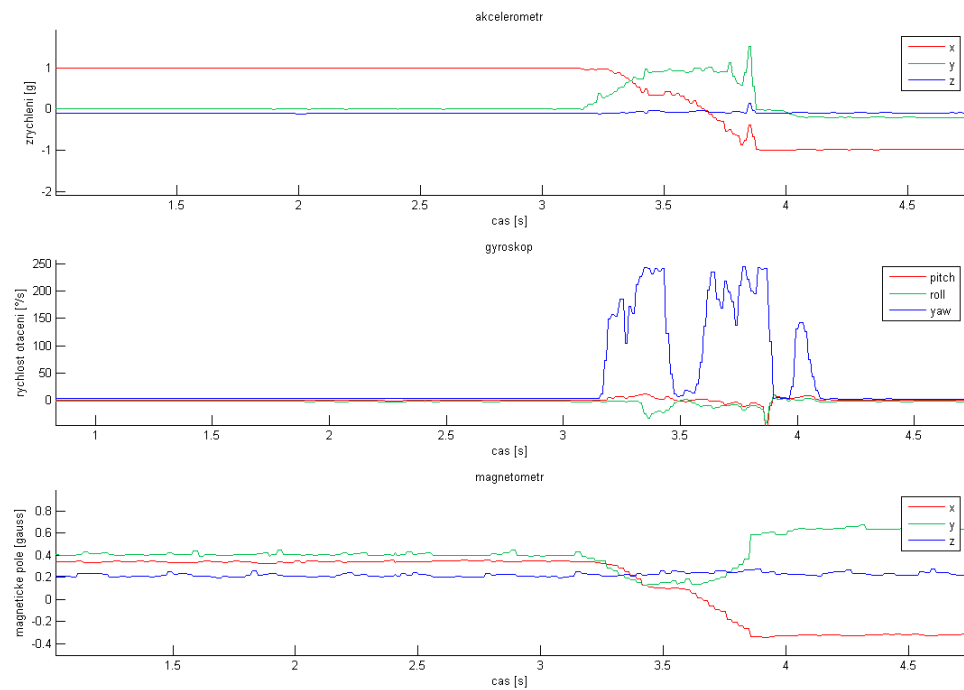
9.2.1.1 Senzor v klidu



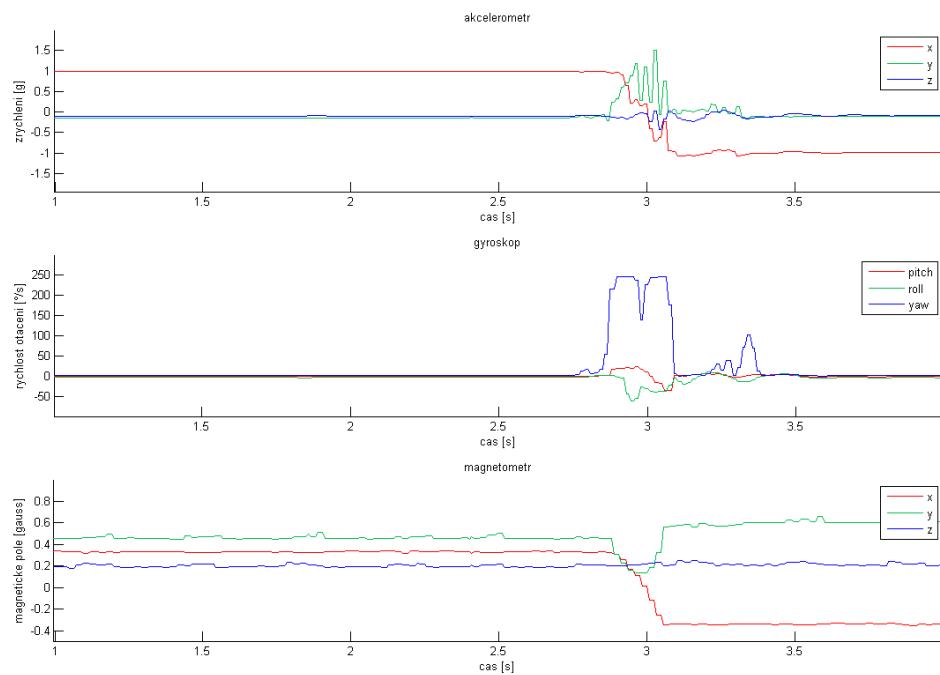
Obrázek 22 - Senzor v klidu

Pozorujeme, že gyroskop v klidu vykazuje nenulovou úhlovou rychlost. Tato skutečnost se musí programově kompenzovat.

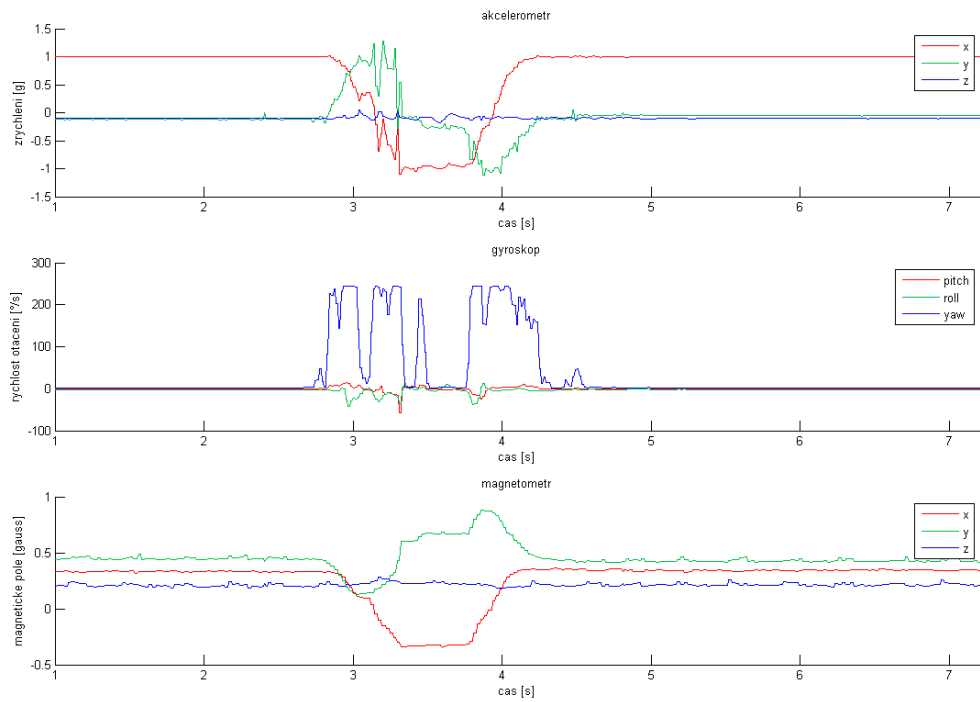
9.2.1.2 Otáčení cylindrem zámku



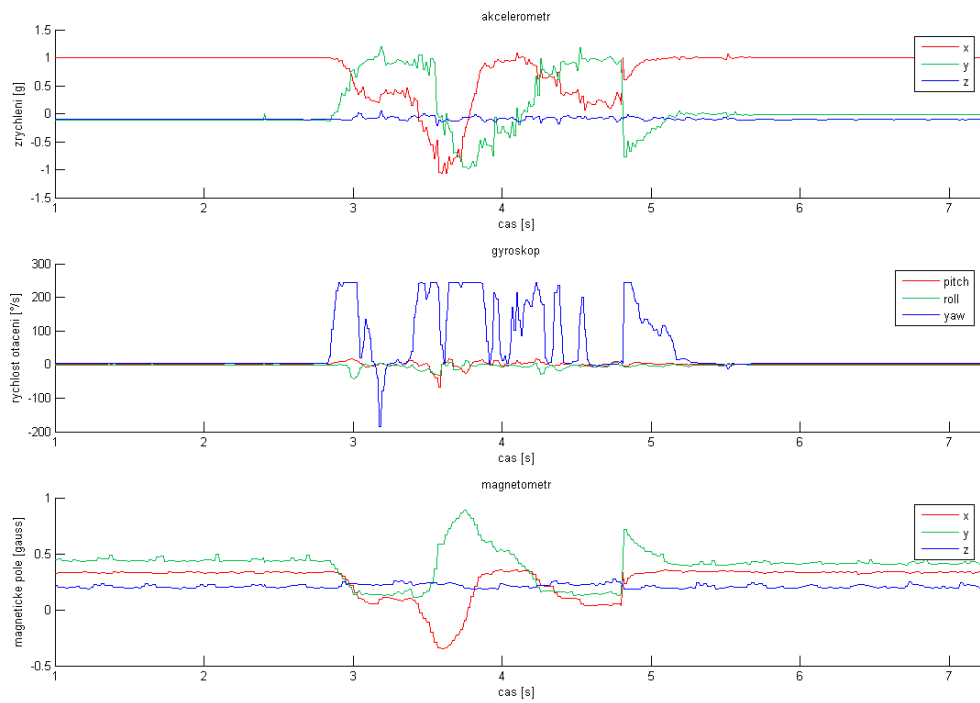
Obrázek 23 – Otočení cylindrem zámku o 180°, pomalu



Obrázek 24 - Otočení cylindrem zámku o 180°, rychle



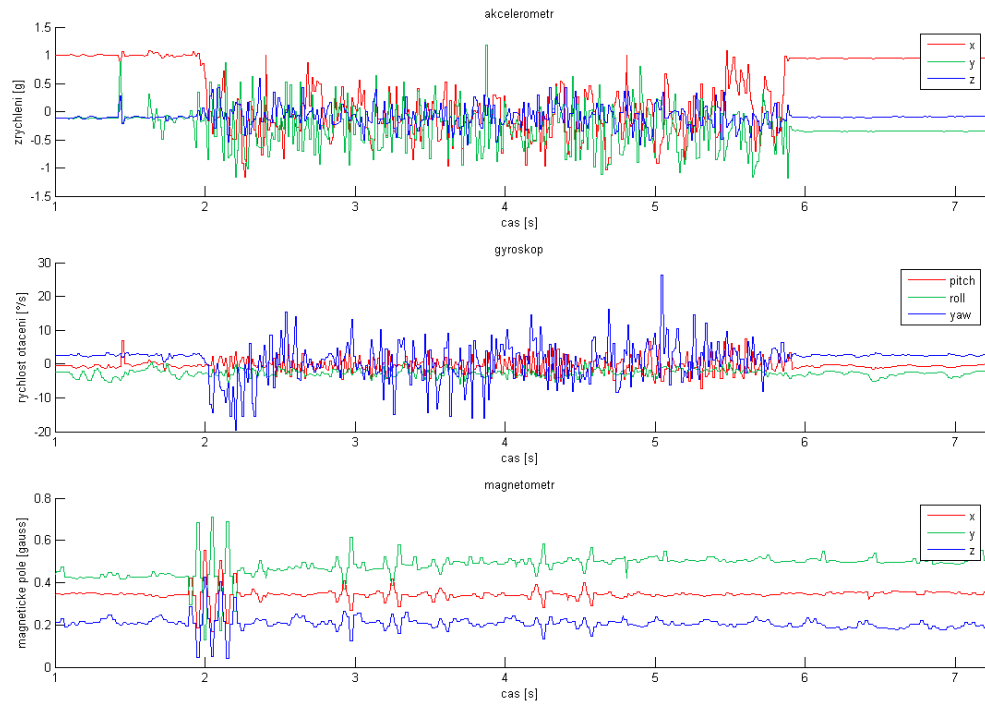
Obrázek 25 - Otočení cylindrem zámku o 360°



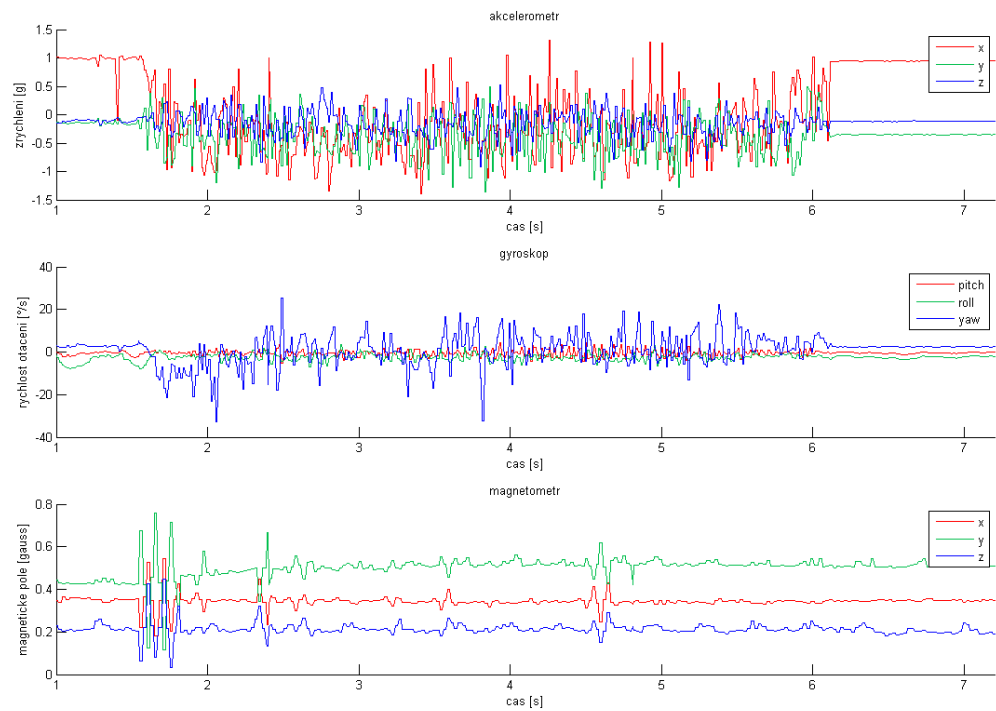
Obrázek 26 - Otočení cylindrem zámku o 720°

Rozsah gyroskopu $\pm 245^\circ/\text{s}$ je nedostatečný, v mnoha případech jsou hodnoty ořezávány maximální hodnotou rozsahu.

9.2.1.3 Vibrace



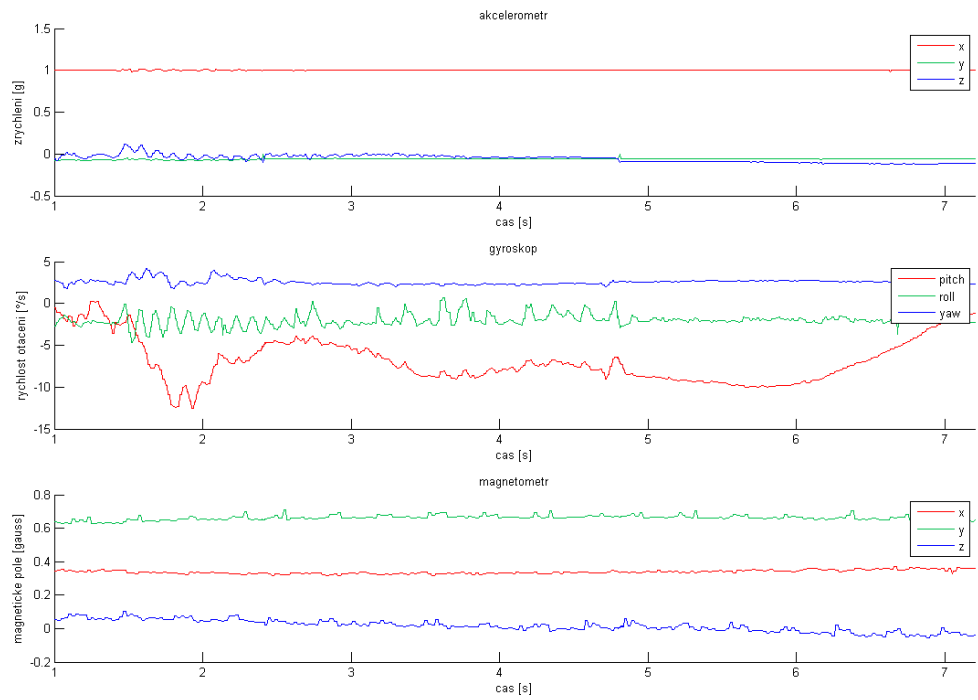
Obrázek 27 – Vibrace



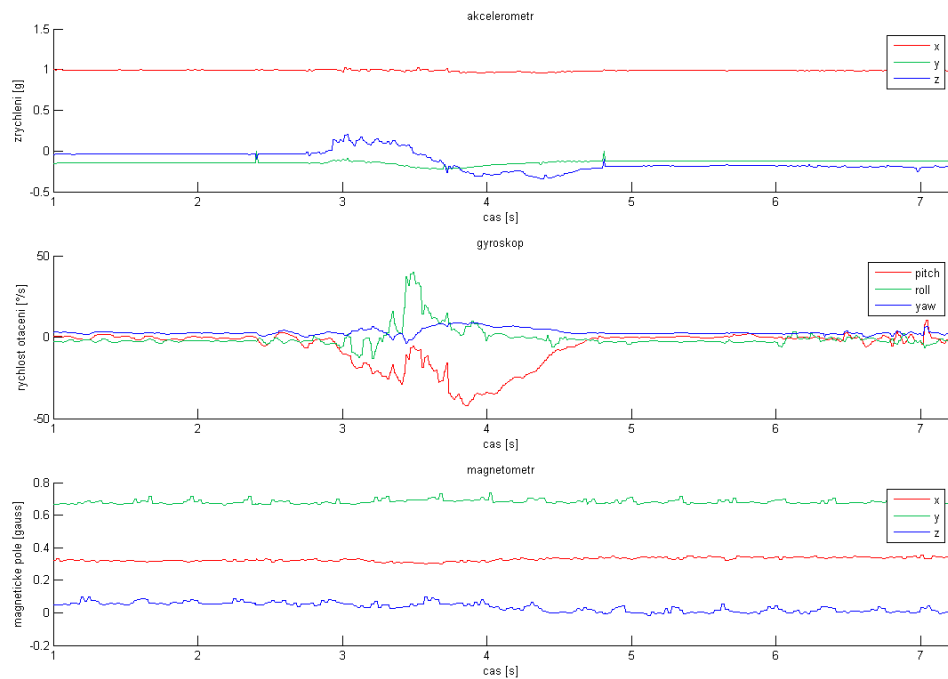
Obrázek 28 – Vibrace

Při silnějších vibracích by rozsah akcelerometru ± 2 g mohl být nedostatečný.

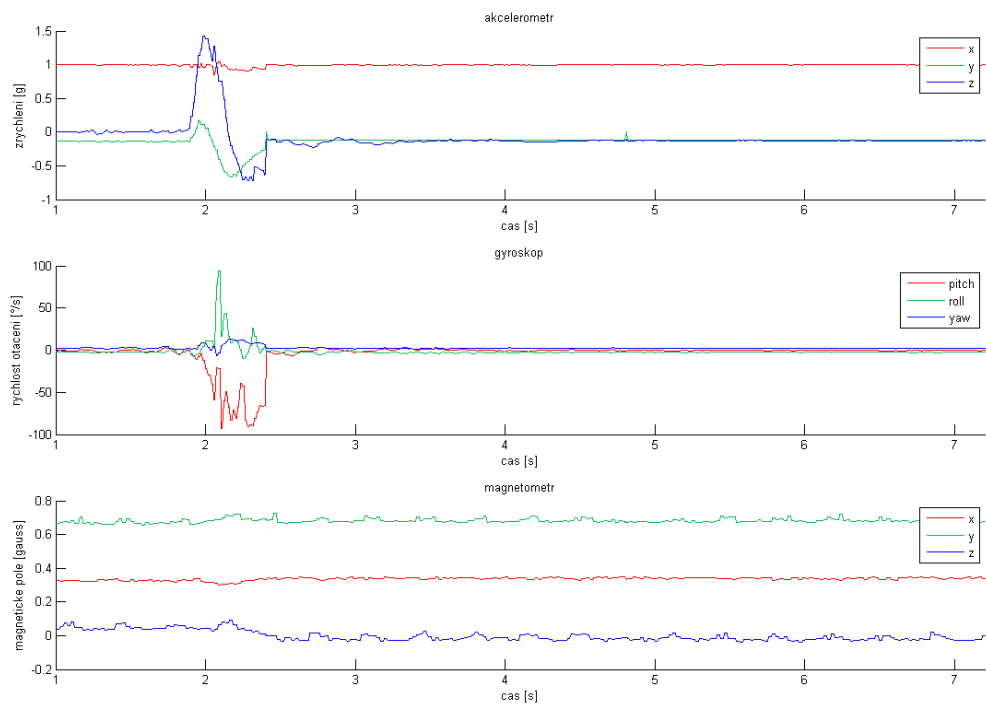
9.2.1.4 Otevření dveří



Obrázek 29 - Otevření dveří – pomalé



Obrázek 30 - Otevření dveří - středně rychle



Obrázek 31 - Otevření dveří – rychle

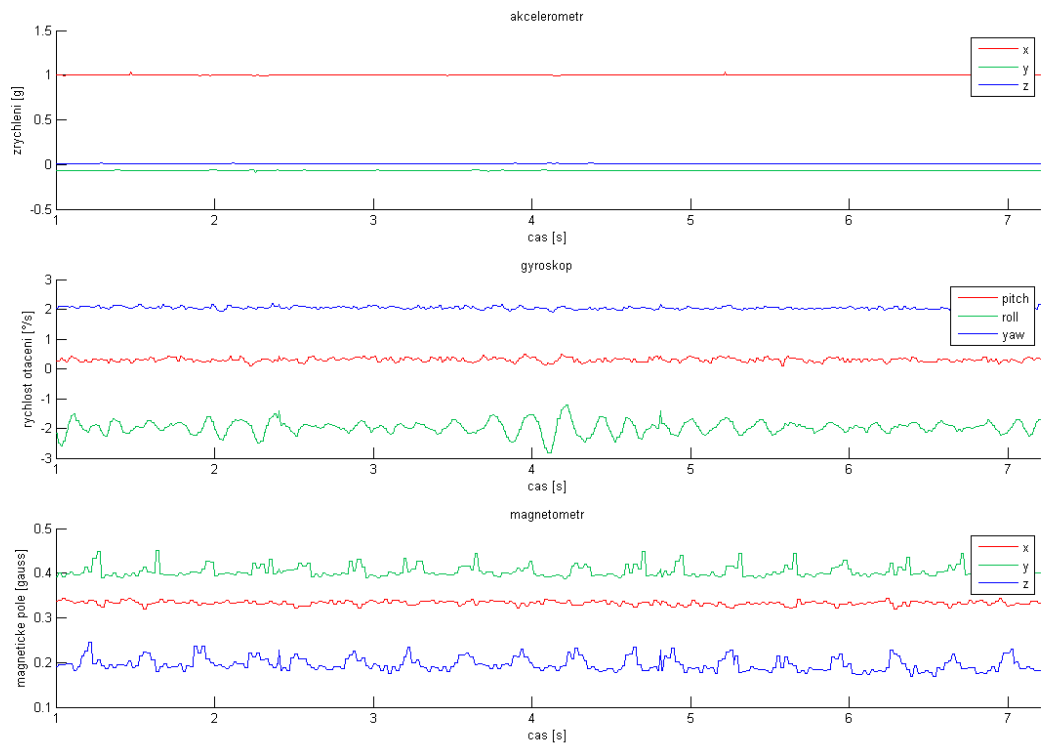
Pozorujeme, že nejvhodnějším senzorem k detekci otevírání dveří je gyroskop. Nejpomalejší otevírání nabývá hodnot okolo 10 °/s a trvá relativně dlouhou dobu, a naopak rychlé otevření (dá se chápat jako vykopnutí) má hodnoty okolo 100 °/s po relativně krátkou dobu. V detekčním algoritmu musí být zohledněny obě varianty.

Po sérii měření s rozsahy ± 245 °/s, ± 2 g a ± 4 gauss zjišťujeme, že rozsah gyroskopu je zcela nedostačující (v mnoha případech jsou naměřené hodnoty ořezávány maximem), rozsah akcelerometru ± 2 g je vcelku vyhovující, ale také by nemusel stačit při silnějších vibracích nebo rychlejších pohybech a nakonec rozsah magnetometru ± 4 gauss je zcela dostačující a proto ho pro další měření ponecháme už na této hodnotě.

9.2.2 ± 500 °/s, ± 4 g, ± 4 gauss

Hodnoty ze senzorů při otevírání dveří jsou patrné už z předchozí podkapitoly (nebyly ořezávány maximy rozsahů senzorů), a proto je dále provedeno pouze měření vibrací a otáčení cylindru zámku.

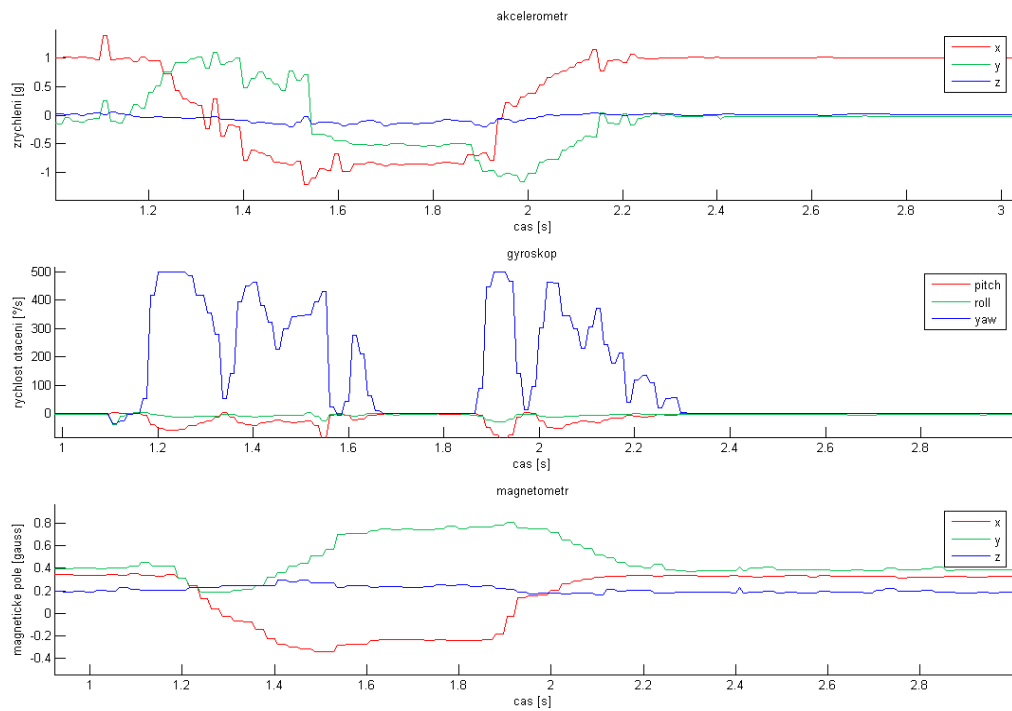
9.2.2.1 Senzor v klidu



Obrázek 32 - Senzor v klidu

Opět nenulové hodnoty z gyroskopu.

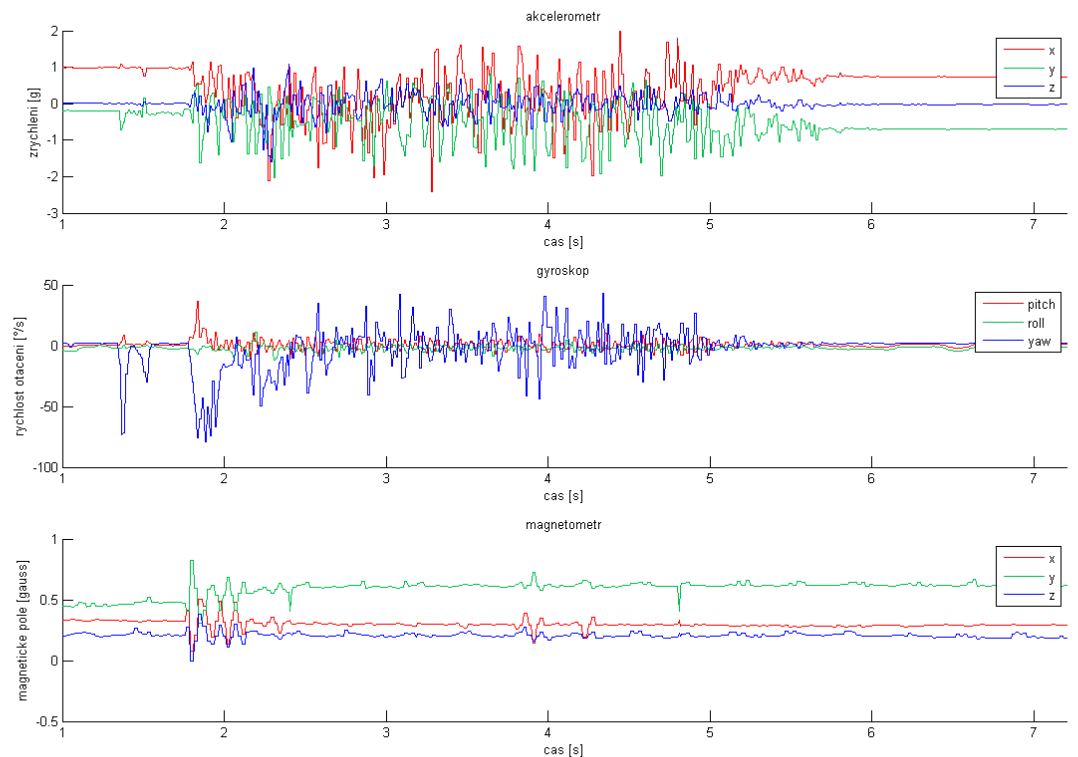
9.2.2.2 Otáčení cylindrem zámku



Obrázek 33 - Otáčení cylindrem zámku

Hodnoty z gyroskopu jsou opět ořezávány maximem rozsahu. Z grafu je patrné, že k ořezu došlo ve dvou případech. Tato maxima nastávají při odemčení zámku – v zámku dojde k zna-
telnému cvaknutí, které rychle pohne celým cylindrem.

9.2.2.3 Vibrace



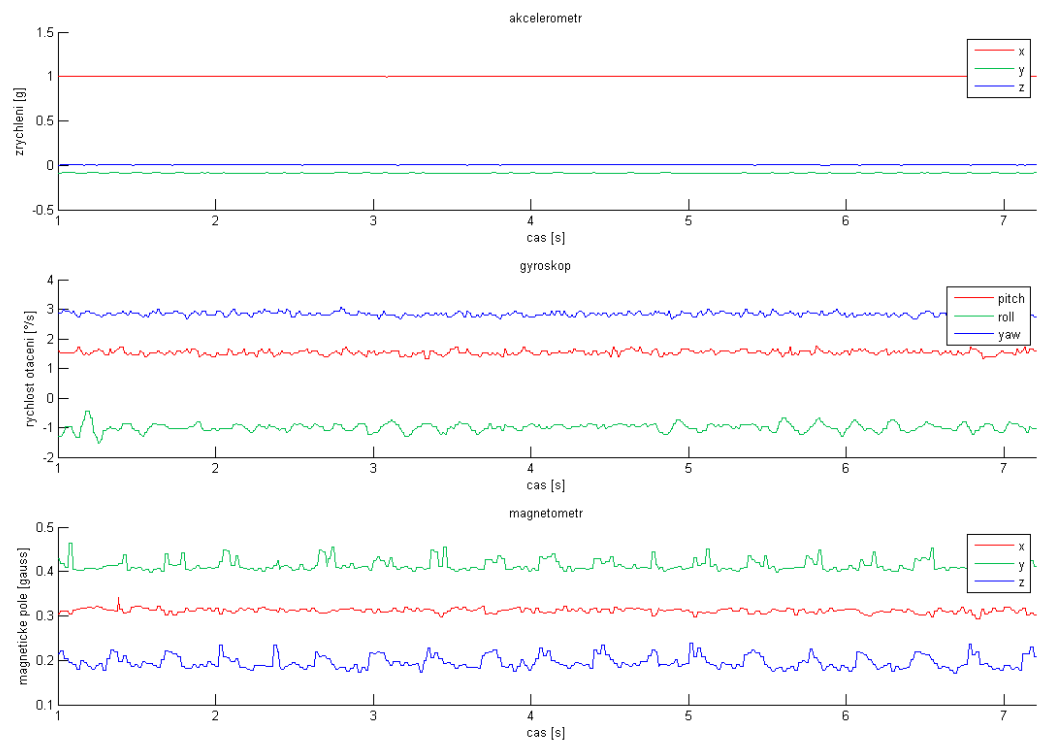
Obrázek 34 – Vibrace

Nastavení rozsahů ± 500 °/s, ± 4 g a ± 4 gauss se již zdá vhodnější. Vibrace mají některé špičkové hodnoty nad (pod) ± 2 g. Rozsah ± 500 °/s gyroskopu stále ořezává některé špičkové hodnoty.

9.2.3 ± 2000 °/s, ± 8 g, ± 4 gauss

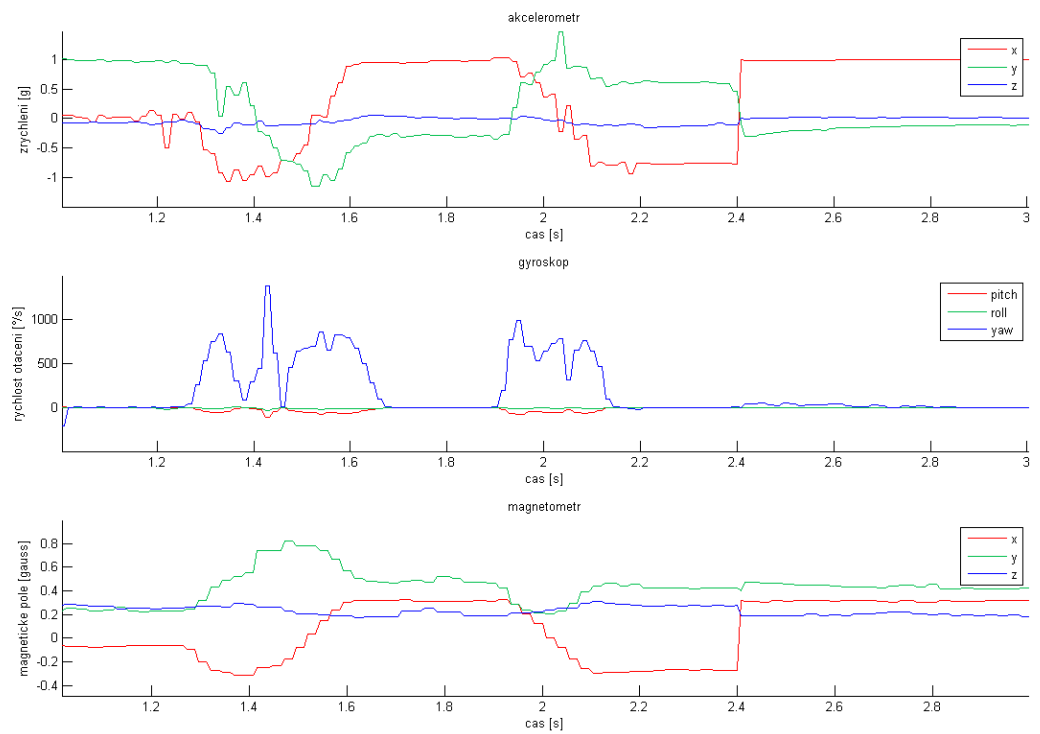
Ačkoliv se předchozí nastavení už zdá být vhodné, byla provedena ještě jedna série měření s maximálním rozsahem gyroskopu, aby nedocházelo k ořezávání špičkových hodnot při odemčení zámku.

9.2.3.1 Senzor v klidu



Obrázek 35 – Senzor v klidu

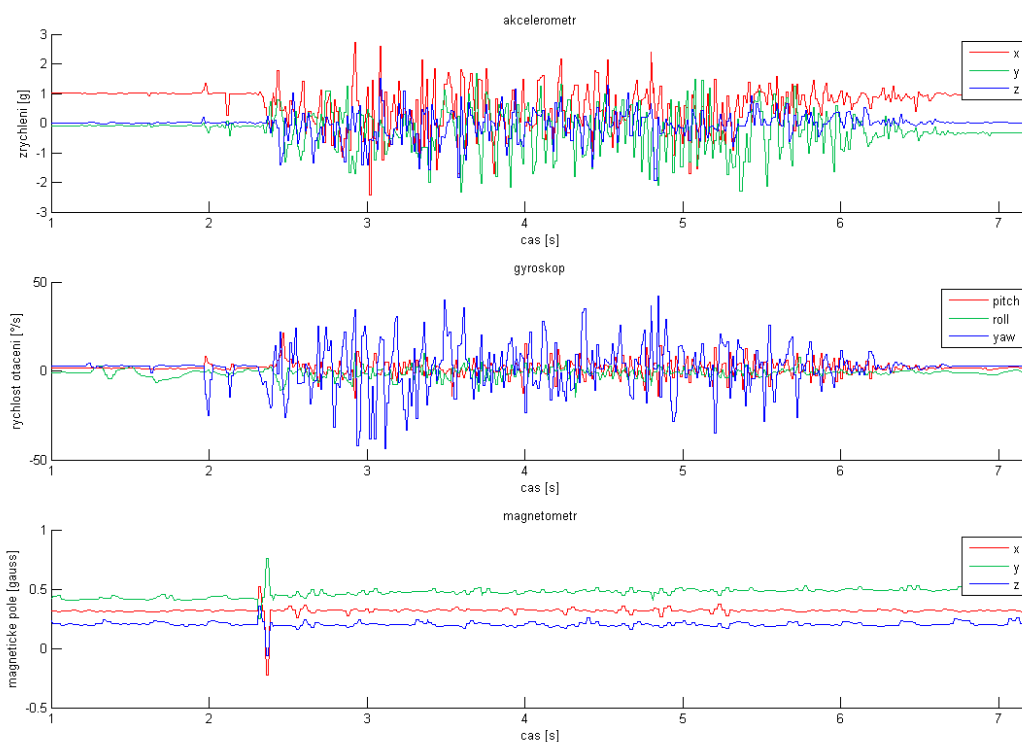
9.2.3.2 Otáčení cylindrem zámku



Obrázek 36 - Otáčení cylindrem zámku

Až při maximálním rozsahu pozorujeme, že špičková hodnota cvaknutí při odemčení zámku dosahuje rychlosti až cca 1500 °/s.

9.2.3.3 Vibrace



Obrázek 37 – Vibrace

9.3 Poznátky

Je nutné detekovat zrychlení přibližně od $\pm 0,5$ g (otáčení) do přibližně ± 3 g (vibrace), do detekčního algoritmu byl proto zvolen rozsah akcelerometru ± 4 g. Spodní hladina 0,5 g byla zvolena jako rezerva - knoflík má trochu vůli a ne při každém otočení cylindru zámku o 360° skončí ve stejné poloze. Uvedené hodnoty zrychlení jsou brány vůči referenčním hodnotám naměřených v klidovém stavu.

Úhlová rychlost se může pohybovat v rozmezí 10 °/s (pomalé otevírání dveří) až 1500 °/s (cvaknutí zámku). Jako kompromis byl zvolen rozsah ± 500 °/s, který sice ořeže špičkové hodnoty (což tolik nevádí), ale oproti rozsahu ± 2000 °/s má větší rozlišení, což je důležitější při detekci malých úhlových rychlostí.

Rozsah magnetometru může zůstat na nejnižších ± 4 gauss (maximálně byla naměřena hodnota 1 gauss).

10 DETEKČNÍ ALGORITMUS

10.1 Návrh detekčního algoritmu

Prvním poznatkem je, že magnetometr dobře reaguje jen na otáčení zámku. Na tuto událost však dobře reaguje i akcelerometr a gyroskop. Ve finálním detekčním algoritmu tedy nebude magnetometr vůbec zohledňován, jelikož na ostatní události již příliš dobře nereaguje.

Čas měření: Nejrychlejším napadením je rychlé otevření dveří (vykopnutí), které trvá přibližně půl sekundy, jsou-li dveře hned po otevření zastaveny. Ostatní druhy napadení už pak trvají více než jednu sekundu. Jelikož má detekční algoritmus k dispozici úsek dlouhý 2,5 sekundy, bude vhodné ho navrhnout tak, že když bude určité procento hodnot nad určitou mezí, spustí se alarm.

Po experimentech s detekčním algoritmem byly zvoleny tyto prahové hodnoty: pokud se 10 % hodnot (tj. 0,25 s) nachází nad hranicí 100 °/s (v absolutní hodnotě), spustí se alarm – detekuje se tím tedy rychlé napadení, např. vykopnutí dveří. Dále pokud se 50 % hodnot (tj. 1,25 s) nachází nad hranicí 0,5 g vůči výchozí poloze (v absolutní hodnotě), spustí se alarm. A nakonec, pokud se 50 % hodnot nachází nad hranicí 10 °/s, spustí se alarm. Ve všech ostatních případech ke spuštění alarmu nedojde a program začíná nový měřicí krok.

Algoritmus tedy detekuje všechny druhy napadení tímto způsobem:

- Otáčení zámekem: Rychlé otočení zámku detekuje gyroskop. Pokud je otáčení natolik pomalé, že gyroskop nepřekročí prahové hodnoty, přijde na řadu akcelerometr. Tíhové zrychlení má totiž delší dobu jinou hodnotu než výchozí (gravitace působí na jinou osu).
- Vibrace: Akcelerometrem. Všechny osy po delší dobu překračují přípustné meze.
- Otevření dveří: Gyroskopem. I velice pomalé otevírání má úhlovou rychlost alespoň okolo 10 °/s.

10.2 Popis algoritmu

V prvé řadě se vyčtou výchozí hodnoty dříve uložené v EEPROM. Tyto hodnoty se pak odečítají od aktuálně naměřených hodnot čímž dojde ke kompenzaci libovolného výchozího natočení senzoru. Kompenzace se provádí i pro gyroskop (i když by v klidu měl mít nulové hodnoty vždy), neboť jak plyne z měření, jeho klidové hodnoty se pohybují cca od -2 °/s do 2 °/s.

Jako prahová hodnota pro akcelerometr byla zvolena 0,5 g v absolutní hodnotě. Pokud v jednom měřicím kroku (2,5 s) je alespoň 50 % hodnot nad touto mezí, rozsvítí se `USR_LED_1` a spustí se akustický alarm.⁹

Jako prahová hodnota pro gyroskop byla zvolena 10 °/s v absolutní hodnotě pro malé úhlové rychlosti a 100 °/s v absolutní hodnotě pro velké úhlové rychlosti. Pokud v jednom měřicím kroku (2,5 s) je alespoň 50 % hodnot nad mezí 10 °/s nebo 10 % hodnot nad mezí 100 °/s, rozsvítí se `USR_LED_2` a spustí se akustický alarm.

Při spuštění alarmu se program nachází v nekonečné smyčce generování tónu, a tedy nedochází již k žádnému měření. Vypnout alarm lze buď restartováním celého systému (tlačítko `RESET`) nebo pomocí obslužné aplikace pro OS Android.

Pozn.: Ve vlastním kódu se nepoužívají přepočítané hodnoty na korespondující jednotky, nýbrž přímo 16 bitová čísla se znaménkem, které chodí od senzoru. Pro přepočet na jednotky je nutno použít následující vzorec:

$$x = y \frac{res}{32768}$$

Kde: x - hodnota v korespondujících jednotkách

y – 16ti bitové číslo přijaté od senzoru

res – zvolený rozsah senzoru

⁹ Akustický alarm v původním návrhu není. Byl až později připojen na pin C13 vyvedeném na GPIO headeru

11 ZMĚŘENÁ SPOTŘEBA

Tabulka 6 - Spotřeba

Stav	Spotřeba [mA]
Deaktivováno	15
Aktivováno	19
Alarm	41

Pro výpočet průměrné spotřeby můžeme zanedbat případ, nachází-li se zařízení ve stavu hlášení alarmu. Je předpoklad, že ke spuštění alarmu bude docházet pouze ojediněle. Další předpoklad je, že zařízení bude přibližně polovinu času v aktivovaném stavu a polovinu v deaktivovaném. To tedy vede na průměrnou spotřebu 17 mA. Tedy například použití lithiové baterie 2CR5, která má kapacitu 1500 mAh, znamená přibližně 4 dny provozu. Zařízení tedy v této fázi návrhu není vhodné pro bateriové napájení. Je nutné napájení ze sítě nebo použití akumulátoru, který se bude jednou za několik dní dobíjet.

12 DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝVOJ

12.1 Jiný senzor

Jelikož má tato práce výzkumný charakter, byl zvolen senzor LSM9DS1, který v sobě kombinuje akcelerometr, gyroskop a magnetometr. Po experimentálním ověření je možné konstatovat, že použití magnetometru je zbytečné. Do budoucna by bylo proto vhodnější použití jiného modulu, který v sobě kombinuje pouze akcelerometr a gyroskop. Jako vhodný se zdá například LSM6DSO od firmy STMicroelectronics, který v sobě nemá magnetometr a má podobné parametry jako zde použitý LSM9DS1.

LSM6DSO má také výhodu v menší spotřebě, která je uváděna jako 0,55 mA, oproti 1,9 mA LSM9DS1 modulu.[25]

12.2 Přesnější měření

Měření bylo provedeno v neprofesionálních podmínkách a je spíše orientačního charakteru. Pro lepší přesnost by bylo vhodné měření provést na specializovaném pracovišti a adekvátně k tomu upravit detekční algoritmus.

12.3 Uspávání centrální jednotky

Funkce systému je založena na nepřetržité detekci. Do budoucna by bylo vhodné generovat LSM9DS1 modulem přerušeni při překročení nějaké prahové hodnoty, čímž by se probudil dříve uspaný procesor a teprve v tuto chvíli by začal měřicí cyklus.

Uspávání centrální jednotky by vedlo na nižší spotřebu celého zařízení.

12.4 Automatické připojení k chytrému telefonu

V tuto chvíli se dá systém deaktivovat pouze přes tlačítko v aplikaci pro OS Android. Aby byl systém uživatelsky přívětivější, měl by sám poznat, že se uživatel dle dříve spárovaného Bluetooth zařízení nachází v dosahu a sám se deaktivovat.

12.5 Hlášení spuštěného alarmu

V tuto chvíli se alarm hlásí pouze lokálně, a to akusticky a světelně. Toto řešení je samozřejmě zcela nepoužitelné a je nutno uživatele nějak informovat na dálku. Vhodné by bylo připojení GSM nebo Wi-Fi modemu a uživatele informovat pomocí SMS, zavoláním nebo prostřednictvím internetu, např. e-mailem.

Pro připojení rozšiřujících periférií slouží GPIO header umístěný na centrální jednotce.

ZÁVĚR

Byl navržen systém detekce napadení zámkové vložky. Předpokladem použití je umístění senzorické desky na cylindrickou vložku s knoflíkem, který se otáčí společně s cylindrickým zámkem, je-li odemkán z druhé strany. Senzorická deska je připojena pomocí I²C sběrnice k centrální jednotce, ve které probíhá detekce otáčení zámku, vibrací a pohybu dveří.

Na základě průzkumu existujících metod napadení zámku a experimentálních měření byly zvoleny dva senzory, a to tříosý akcelerometr a tříosý gyroskop. Z důvodu minimalizace byl zvolen modul LSM9DS1, který oba tyto senzory kombinuje na jednom čipu. LSM9DS1 v sobě ještě obsahuje magnetometr, který nebyl pro detekci napadení nakonec použit. Proto byl pro budoucí aplikace navržen jiný senzor a to LSM6DSO, který v sobě kombinuje pouze akcelerometr a gyroskop.

Byl navržen a vyroben hardwarový prototyp, který se skládá ze dvou částí: senzorická deska pro umístění přímo na zámkovou vložku, která je pak pomocí I²C sběrnice propojena s centrální jednotkou, která má za úkol detekci napadení, interakci s uživatelem a bezdrátové spojení s chytrým telefonem pomocí BTLE technologie.

Zařízení ještě v doplnění k uživatelskému rozhraní a BTLE modulu obsahuje GPIO header pro připojení dalších rozšiřujících periférií, jako je například GSM nebo Wi-Fi modul.

Jelikož se jedná o prototyp, byl v poslední kapitole této práce navržen postup a vylepšení pro další vývoj.

System není schopný detekovat všechny druhy napadení (např. napadení objektu přes okno) a proto je vhodné ho použít v kombinaci s některou z existujících metod detekce, uvedených v kapitole 1 této práce.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] FAB 2000. Assa Abloy [online]. [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: <https://www.assaabloy.cz/cs/local/cz/produkty/mechanicke-produkty/cylindricke-vlozky/fab-2000/>
- [2] WEBER, Thad L. Alarm systems and theft prevention. 2nd ed. Boston: Butterworth, 1985. ISBN 0-409-95175-7.
- [3] VAŇUŠ, Jan. Základy Systémové techniky budov: Zabezpečovací zařízení [online]. [cit. 2018-08-25]. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/STB/6.%20Zabezpecovaci%20zarizeni.pdf>
- [4] Produkty. ASSA ABLOY [online]. Praha [cit. 2018-08-25]. Dostupné z: <https://www.assaabloy.cz/cs/local/cz/produkty/>
- [5] UHLÁŘ, Jan. Technická ochrana objektů. 2. vyd. Praha: Policejní akademie České republiky v Praze, 2009. ISBN 978-80-7251-312-3.
- [6] Pin tumbler with key. In: *Wikimedia Commons* [online]. 2008 [cit. 2018-08-25]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pin_tumbler_with_key.svg
- [7] Jak otevřít zamčené dveře. WikiHow [online]. [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: <https://www.wikihow.cz/Jak-otevřít-zamčené-dveře>
- [8] Tíhové zrychlení. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2018-08-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Tíhové_zrychlení
- [9] Jak pracují nové 3D MEMS akcelerometry Freescale ?. Vyoj.hw.cz [online]. 2007 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/soucastky/jak-pracuji-nove-3d-mems-akcelerometry-freescale.html>
- [10] Magnetometr. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetometr>

- [11] Lorentzova síla. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Lorentzova_síla
- [12] MEMS magnetic field sensor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/MEMS_magnetic_field_sensor
- [13] E-Compasses. ST [online]. 2018 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: https://www.st.com/content/st_com/en/products/mems-and-sensors/e-compasses.html?querycriteria=productId=SC
- [14] PASSARO, Vittorio M. N., Anronello CUCCOVILLO, Lorenzo VAIANI, Martino DE CARLO a Carlo Edoardo CAMPANELLA. Gyroscope Technology and Applications: A Review in the Industrial Perspective. MDPI. 2017, 2017(17), 22.
- [15] 3D Gyroscope. In: *Wikimedia Commons* [online]. 2006 [cit. 2018-08-25]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_Gyroscope.png
- [16] BATUR, C., T. SREERAMREDDY a Q. KHASAWNEH. SLIDING MODE CONTROL OF A SIMULATED MEMS GYROSCOPE. Akron – Ohio, 2005. University of Akron.
- [17] Coriolis-like effect found 184 years before Coriolis. *New Scientists* [online]. 2011, 2011, 1 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: <https://www.newscientist.com/article/dn19979-coriolis-like-effect-found-184-years-before-coriolis/>
- [18] MEMS and Sensors. ST [online]. 2018 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: <https://www.st.com/en/mems-and-sensors.html>
- [19] LSM9DS1. ST [online]. 2015 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lsm9ds1.pdf>
- [20] RM0091 Reference manual: STM32F0x1/STM32F0x2/STM32F0x8 advanced ARM®-based 32-bit MCUs. ST [online]. 2017 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/c2/f8/8a/f2/18/e6/43/96/DM00031936.pdf/files/DM00031936.pdf/jcr:content/translations/en.DM00031936.pdf

- [21] RN4020: Bluetooth® Low Energy Module. Microchip [online]. 2015 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002279B.pdf>
- [22] Bluetooth low energy overview. Developers [online]. 2018 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: <https://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth-le>
- [23] RN4020 Bluetooth® Low Energy Module User's Guide. Microchip [online]. 2014 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70005191B.pdf>
- [24] AN4061 Application note: EEPROM emulation in STM32F0xx microcontrollers. ST [online]. 2012 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/2e/d4/65/6b/87/dd/40/25/DM00049914.pdf/files/DM00049914.pdf/jcr:content/translations/en.DM00049914.pdf
- [25] LSM6DSO: iNEMO inertial module: always-on 3D accelerometer and 3D gyroscope. ST [online]. 2018 [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: https://www.st.com/resource/en/data_brief/lsm6dso.pdf