

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace



Diplomová práce

Navigační systém pro nevidomé uvnitř budov

Bc. Marek Štok

© 2021 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Marek Štork

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Navigační systém pro nevidomé uvnitř budov

Název anglicky

Navigation System for Blind Persons inside of Building

Cíle práce

Cílem diplomové práce je navrhnout navigační systém pro nevidomé. Tento systém by jim měl usnadnit pohyb uvnitř budov a umožnit navigaci v nich.

Metodika

V diplomové práci bude provedena rešerše dostupných navigačních systémů pro nevidomé osoby. Na základě rešerše diplomant navrhne vhodný navigační systém, který jim umožní pohyb uvnitř budov se zaměřením na snížení rizika pohybu a upozornění na překážky, např. schodiště, vchody do místností apod.

Doporučený rozsah práce

50 – 60 str.

Klíčová slova

nevidomé osoby, navigační systém, optický, bezdrátový

Doporučené zdroje informací

Ďaďo, S., Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody, ČVUT, Praha 1996

Králíček, P.: Úvod do speciální neurofyzologie. Nakladatelství Karolinum. Praha 2002

Kreidl, M., Šmíd, R.: Technická diagnostika. BEN, Praha 2006

Valečko, Z. a kol.: Bioelektronika v amatérské praxi. BEN. Praha 2005

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 1. 2. 2021

doc. Ing. Miloslav Linda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 14. 05. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Navigační systém pro nevidomé uvnitř budov" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.5.2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Jaromíru Volfovi, DrSc. za jeho cenné rady a ochotné a trpělivé vedení při zpravování diplomové práce.

Navigační systém pro nevidomé uvnitř budov

Abstrakt

Cílem diplomové práce je vytvořit vnitřní navigační systém určený zrakově postiženým osobám. V první části práce je provedena literární rešerše dostupných navigačních systémů s vyhodnocením použitých technologií. Dále je v teoretické části práce charakterizována problematika překážek, jejich rozdělení a možnosti jejich překonání. Praktická část práce je věnována návrhu navigačního systému. Tento návrh je rozdělen do třech dílčích bodů. Prvním bodem je vytvoření vnitřní navigační mapy pomocí webové stránky WRLD3D. V druhé kapitole praktické části byl vypracován výběr vhodných popisných prvků odpovídajících směrnici dle vyhlášky 398/2009 Sb., která přesně definuje jednotlivé popisné a navigační prvky budov. V posledním, třetí, kapitole praktické části práce je řešena problematika snímání a detekce schodiště a dveří. Tato kapitola dále obsahuje model upravené slepecké hole, která zrakově postiženým osobám poskytne zpětnou vazbu, která je upozorní na blížící se hrany schodů. Součástí návrhu slepecké hole je i vytvořený program pro její funkčnost.

Klíčová slova: nevidomé osoby, navigační systém, optický, bezdrátový

Indoor navigation system for visually impaired

Summary

The aim of the diploma thesis is to create an indoor navigation system for visually impaired people. In the first part of the work is a literature search of available navigation systems with the evaluation of the used technologies. Furthermore, the theoretical part of the work characterizes the issue of obstacles, their distribution and the possibility of overcoming them. The practical part of the work is focused on the design of a navigation system. This design is divided into three sub-points. In the first chapter is created an indoor navigation map using the WRLD3D website. In the second chapter of the practical part is a selection of suitable descriptive elements corresponding to the directive according to Decree 398/2009 Coll., which precisely defines individual descriptive and navigational elements of buildings. In the last, third, chapter of the practical part of the work is solved the problem of sensing and detecting stairs and doors. This chapter also contains a model of a modified blind stick, which will provide visually impaired people with feedback that will alert them to the approaching edges of the stairs. Part of the design of the blind stick is also a program created for its functionality.

Keywords: blind people, navigation system, optical, wireless

Obsah

1 Úvod	13
2 Metodika a cíl práce	14
2.1 Cíl práce	14
2.2 Metodika	14
3 Přehled současného stavu	15
3.1 Reprezentace mapových dat pro nevidomé	15
3.1.1 Slepota a smyslová kompenzace.....	15
3.1.2 Vnitřní navigace pro zrakově postižené.....	15
3.1.3 Pomocné technologie.....	15
3.1.4 Vnitřní navigační systém.....	16
3.1.5 Mapy a reprezentace dat.....	17
3.1.6 Problémy a výzvy.....	18
3.1.7 Rámec reprezentace mapových dat.....	19
3.1.8 Referenční model.....	22
3.1.9 Klasifikace objektů.....	24
3.1.10 Aplikace a rozšíření.....	26
3.2 Systémy vnitřní navigace	27
3.2.1 Dosavadní vnitřní navigační systémy.....	28
3.2.1.1 Vstupní modul.....	28
3.2.1.2 Výpočetní modul.....	34
3.2.1.3 Modul pro zpětnou vazbu.....	34
4 Návrh vnitřního navigačního systému	36
4.1 Tvorba vnitřní mapy	36
4.1.1 Vytvoření vnitřní mapy pomocí software WRLD3D.....	36
4.1.1.1 Tvorba mapy v prostředí QGIS.....	37
4.1.1.2 Přidání a sdílení mapy.....	41
4.1.1.3 Aktiva budovy.....	42
4.1.1.4 Nástroj pro vývojáře.....	43
4.1.2 Využití mapy pro navigační systém.....	43
4.2 Pasivní prvky navigace	43
4.2.1 Popisné prvky.....	44
4.2.2 Interiérové vodící linie.....	45
4.2.3 Hrany schodů.....	45
4.3 Technické prostředky navigace	45
4.3.1 Označení dveří.....	45

4.3.1.1	Technologie RFID.....	46
4.3.1.2	Technologie NFC.....	48
4.3.2	Detekce hrany schodů.....	49
4.3.2.1	Hallův jev.....	49
4.3.2.2	Halovy sondy.....	50
4.3.2.3	Aplikace Halovy sondy v navigaci pro ZP.....	53
4.3.3	Upravená slepecká hůl.....	53
4.3.3.1	Modul pro detekci magnetického pole.....	54
4.3.3.2	Vibrační modul.....	57
4.3.3.3	Výpočetní modul.....	59
5	Výsledky.....	63
6	Závěr.....	65
7	Bibliografie.....	66
8	Samostatné přílohy.....	I

Seznam obrázků

Obrázek 1: Konceptuální rámec pro reprezentaci mapových dat.....	19
Obrázek 2: Referenční model pro architekturu reprezentace mapových dat.....	22
Obrázek 3: Škálovaná klasifikace vnitřních objektů dle možnosti přesunu.....	24
Obrázek 4: Potenciální aplikace a rozšíření reprezentace mapových dat.....	26
Obrázek 5: Složení vnitřního navigačního systému: Přenosné zařízení a server	28
Obrázek 6: Pohled na objekt	37
Obrázek 7: Opravený půdorys a přidání nové vrstvy.....	39
Obrázek 8: Vytvoření stěn, oken a dveří.....	39
Obrázek 9: Vytvoření hodnoty ID.....	40
Obrázek 10: Vytvoření souboru main.json	41
Obrázek 11: Přidání mapy na web.....	42
Obrázek 12: Značení pro nevidomé.....	44
Obrázek 13: NFC přenos dat.....	48
Obrázek 14: Hallův jev	50
Obrázek 15: Nasycení Hallovy sondy	51
Obrázek 16: Schéma Hallovy sondy	52
Obrázek 17: Převodní funkce Hallovy sondy.....	52
Obrázek 18: Vnitřní schéma SI7201-B-09-IB	54
Obrázek 19: Vibrační modul	57
Obrázek 20: Schéma zapojení vibračního modulu.....	58
Obrázek 21: Pohled na Arduino Nano Every	59
Obrázek 22: Program pro Arduino	62

Seznam tabulek

Tabulka 1: Problémy a výzvy ZP při navigaci v neznámých prostorech.....	17
Tabulka 2: Design rámce a jeho potenciální aplikace (řazen ze spodu).....	23
Tabulka 3: Klasifikace vnitřních objektů dle možnosti přesunu – příklady a definice ...	25
Tabulka 4: Jednotlivá pásma RFID.....	47
Tabulka 5: Technické parametry Hallovy sondy	56
Tabulka 6: Technické parametry vibračního modulu	58
Tabulka 7: Technické parametry Arduino Nano Every	60

1 Úvod

Dle dat z roku 2020 Světová zdravotnická organizace (WHO) uvádí, že celosvětově trpí poruchou zraku nejméně 2,2 miliardy lidí. Dále uvádí, že v téměř polovině případů bylo možno poškození zraku předejít či zmírnit jeho poškození včasným řešením. Hlavní příčinou poškození zraku a slepoty jsou nekorigované refrakční chyby a katarakta. Většina lidí s poruchou vidění je ve věku nad 50 let, avšak ztáta zraku může mít vliv na lidi všech věkových skupin. Díky ztrátě vidění se život a každodenní aktivity stávají velmi obtížnými, zejména pak aktivity, které vyžadují schopnost navigace. Proto, procházení městy nebo samotnými budovami je příliš obtížné. Studie uvedly, že 80-90 % zrakově postižených lidí strávilo svůj každodenní život uvnitř budov kvůli těmto postižením. Pro tyto osoby je zásadní program orientace a mobility (O&M), který učí bezpečně a efektivně cestovním dovednostem. V tomto programu se postižení učí, jak používat běžné nástroje jako je např. bílá hůl a smyslová kompenzace při poznávání okolního prostředí, která je velmi důležitou složkou při formování metální mapy známé jako oko mysli. Navzdory tomu, že jsou schopni nezávisle procházet městy a budovami, je pohyb stále obtížný díky množství problémů, se kterými se setkávají. Mezi tyto problémy lze zařadit například překážky, hluk, a další bariéry přímo ovlivňující aktivity uvnitř i venku.

Přestože globální navigační systém (GPS) přinesl pro venkovní navigaci obrovské výhody, přesnost při odhadování pozice uvnitř budov je stále nepřijatelná, kvůli svým omezením. Proto byl díky různým snímacím technologiím vyvinut vnitřní polohový systém (IPS), který poskytuje přesnější informace o poloze zařízení v interiéru a stal se součástí komerčních vnitřních navigačních systémů (INS). Tyto systémy přišly s obecnou mapou, kde jsou informace o rozvržení budovy zachyceny v 2D a dále se používají při procesu vyhledání trasy a plánování. Samotné obecné mapy by však těmto lidem nestačily pro přesnou navigaci uvnitř budov kvůli potřebě dalších důležitých informací, jako jsou orientační body, překážky, nebezpečí, shluky lidí atd. Ve skutečnosti jsou tyto prostorové informace nejdůležitější z hlediska propagace těchto systémů zrakově postiženými lidmi.

Pro navržení map, které mohou řešit všechny problémy a výzvy, je nutné pochopit, jak se lidé chovají při navigaci uvnitř budov a zkoumat, jaký typ informací je užitečný pro lepší vnitřní navigaci.

2 Metodika a cíl práce

2.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je navrhnout navigační systém pro nevidomé. Tento systém by jim měl usnadnit pohyb uvnitř budov a zároveň umožnit navigaci v nich. Cílem teoretické části práce je charakteristika reprezentace mapových dat pro nevidomé a systémů vnitřní navigace. První teoretická část práce vymezuje pojmy jako slepota a smyslová kompenzace nebo vnitřní navigace pro zrakově postižené a s ní související pojmy. Druhá teoretická část práce je poté věnována samotným systémům vnitřní navigace.

Cílem vlastní práce je konstrukce samotného návrhu vnitřního navigačního systému. První část vlastní práce je věnována tvorbě vnitřní mapy v software WRLD3D a QGIS a její implementace do navigačního systému. Druhá kapitola vlastní práce je věnována pasivním prvkům navigace jako jsou popisné prvky, interiérové vodící linie nebo hrany schodů. Dílčím cílem vlastní práce byl návrh navigačních prvků usnadňujících pohyb nevidomým osobám s důrazem na detekci dveří a hran schodů. Dalším dílčím cílem vlastní práce bylo vytvoření programu pro ovládání navigačních prvků.

2.2 Metodika

Teoretická část práce je zpracována pomocí **deskriptivních metod** a **metody sumarizace**, které vychází ze studia vhodných odborných zdrojů a publikací. Využitím těchto metod je nastíněna problematika reprezentace mapových dat pro nevidomé a systémů vnitřní navigace.

První část vlastní práce je zaměřena na **tvorbu mapového výstupu pomocí software WRLD3D a QGIS**. Tato mapa bude sloužit pro budoucí navigační aplikaci s využitím zabudovaných smart doplňků mapy pro zjednodušení navigování zrakově postižených uvnitř budov. Druhá část vlastní práce charakterizuje pasivní prvky navigace, konkrétně popisné prvky, interiérové vodící linie nebo hrany schodů, na základě **sekundární analýzy dat**. V poslední, třetí, části vlastní práce je za pomoci metody **modelování** navržen navigační systém pro nevidomé osoby uvnitř budov. Navržený systém umožní osobám se zrakovým postižením pohyb uvnitř budov se zaměřením na snížení rizika pohybu a upozornění na překážky, např. schodiště, vchody do místností apod.

3 Přehled současného stavu

3.1 Reprezentace mapových dat pro nevidomé

3.1.1 Slepota a smyslová kompenzace

Pro lidi se zrakovým postižením je schopnost spojit se sociálními aktivitami a mít normální společenský život velmi obtížné díky fyzickým podmínkám, díky nimž se cítí z činností vynechání. Ztráta zraku významně ovlivnila většinu činností, které jsou nezbytné pro jejich rozvoj. Mnoho problému a výzev vzniká v oblasti činností a aktivit spojených s navigací. Proto cestování bez zraku je zjevně náročné pro lidi s vrozenou slepotou, získanou slepotou i pro normálně vidící lidi s páskou přes oči [1].

Při ztrátě zraku se mohou zapojit do hry i ostatní smysly v roli doplnění chybějících informací ve vnímání. Tento jev se nazývá smyslová kompenzace. Soustředěním se na zbytkové smysly lidé cítí a poznávají okolní prostředí prostřednictvím multisenzorických kanálů [2].

3.1.2 Vnitřní navigace pro zrakově postižené

Bylo zjištěno mnoho problémů a výzev při navigaci venku, při cestování uvnitř, zejména v neznámých prostorech a budovách, byla navigace ještě složitější díky problémům způsobeným např. překážkami, davy lidí a kluzkou podlahou. Zapamatovat si nové prostředí, jako jsou nemocnice, obchodní domy nebo jakékoliv rozlehlé komplexy budov je obtížné, kvůli nedostatku navigačních pokynů či informací o přístupnosti. Proto je pro zrakově postižené velmi složité rozhodnout se, jakou cestou se vydat, aby se dostali do cíle v složitém a přeplněném prostředí [3].

3.1.3 Pomocné technologie

Díky pokroku v technologiích se role chytrých zařízení dostala dohry v mnoha různých průmyslových odvětvích, a to i při pomoci s postižením či přístupností. Důležitou funkci získal VoiceOver2, který funguje jako čtečka obrazovky zabudovaná do systému umožňující lidem se zrakovým postižením přístup k informacím prostřednictvím mluveného popisu. Dále pak TapTapSee3. Jedná se o mobilní aplikaci, která využívá kameru k identifikaci objektů a prostřednictvím mluveného hlasu napomáhá uživateli v orientaci. Dalším příkladem je aplikace BlindSquare4. Jedná se o přístupnou navigaci v interiéru i exteriéru, která pomocí zvukové

zpětné vazby poskytuje informace o okolním prostředí, bodech zájmu, křižovatkám ulic a dalších.

Bylo vyvinuto mnoho přenosných výpočetních zařízení, první bylo vytvořeno zařízení používající GPS a geografický informační systém (GIS) a využívalo ultrazvuk k detekci překážek. Uživatel byl na překážku upozorněn prostřednictvím sluchátek v průběhu chůze. Později mnoho přenosných zařízení využilo tento koncept jako například 3D soundscape, zařízení využívající GPS a smart zařízení k navigaci v exteriérech, a Alice-band, jiné přenosné zařízení, které přizpůsobilo RFID k navigaci v interiérech budov [4].

3.1.4 Vnitřní navigační systém

Přestože je v dnešní době nejrozšířenějším nástrojem s širokým použitím GPS, jeho výkon je značně omezen díky jeho charakteristikám a limitacím při nasazení uvnitř budov. Aby se podařilo tyto nedokonalosti omezit, vědci zkoušeli při nasazení IPS využít různé techniky provedení, jako je například RFID, přístupy Radio Map (Bluetooth, WiFi), Ultra-Wideband, Ultrazvuk, setrvačné senzory, optické senzory a viditelné světlo. Spousta aplikací dokáže těžit z výhod IPS jako například vnitřní navigační systém robotů a autonomní systémy.

Díky spolupráci s vnitřní mapou je IPS vybaven vnitřní prostorovou informací, díky které systém dokáže poskytnout potřebné funkce, jako je plánování trasy a navigace. Vnitřní mapy zavedené do systému jsou ve většině provedení prosté, nepopsané a obvykle se ukládají ve formě rastrové či vektorové grafiky. Nedostatek podrobností a doplňujících informací o prostorech a budovách, může způsobit vážné problémy při použití nevidomou osobou [3].

Tabulka 1: Problémy a výzvy ZP při navigaci v neznámých prostorech

Problémy a výzvy	Problém	Řešení
Neznámé prostředí	Problémy s navigací uvnitř neznámých míst, která jsou obvykle rozlehlá, složitá, široce otevřená, plná lidí a hluku, a chybí informace o přístupnosti. Vodicí pes nemusí být tolerován v některých budovách	Průvodce Přístupová mapa
Informace o bezbariérových přístupech	Problémy s navigací uvnitř budov, které postrádají informace o vidících drážkách, schodech, eskalátorech, odjezdů, čísla a jména místností, které obvykle nejsou poskytovány	Průvodce Přístupová mapa
Mapa pro zrakově postižené	Informace poskytované z map, komerčních i veřejných, jsou omezené a nedostačují pro osoby se zrakovým postižením. Pro získání větší důvěry v navigaci, by měly být objekty a přístupové informace integrovány do mapy	Návrhový Rámec
Vnitřní navigační systém	Bez ohledu na to, jaké techniky pozicování byly použity ve vnitřním navigačním systému, mapa zůstává hlavní součástí navigace, která většinou postrádá potřebné informace pro zrakově postižené	Návrhový Rámec
Detekce a vyvarování se překážek	Obtíže při detekování a vyhnutí se překážkám instalovaným či umístěným v prostředí během navigování	Echolokace Senzor: Ultrazvuk
Nepředvídatelné překážky	Obtíže při detekování či příjmu informací o nepředvídatelných objektech jako jsou davy lidí apod.	Senzor: Kamera

Zdroj: Vlastní zpracování dle International Journal of Chaotic Computing (IJCC), 2016

3.1.5 Mapy a reprezentace dat

V dnešní době je nejdůležitější součástí navigace mapa, která poskytuje uživateli informace o místech a trasách. Většina map je obvykle k dispozici v provedení pro cestování ve venkovních prostorech, zatímco mapy pro navigaci ve vnitřních prostorech čelí problému získání

potřebných dat a informací o daných objektech, což je pro užití postiženými stěžejní. Několik studií a komerčních produktů na bázi vnitřní lokalizace je vyvíjeno jako samostatné systémy, jejichž mapy jsou navrženy v rastrových nebo vektorových grafických formátech a poskytují informace o konkrétní oblasti budov. Společnost Google také vytvořila platformu pro vnitřní mapy s názvem Google Indoor Maps, crowdsourcingový model poskytující funkci, která umožňuje uživateli vytvořit 2D vnitřní mapu se základními vnitřními informacemi umístěnými na samotných mapách Google, které jsou vhodné pro všeobecné použití. Vzhledem k tomu, že tyto funkce nemusí dostačovat pro pokrytí a splnění minimálních požadavků pro nasazení k provádění složitých úkonů, například auto s autonomním řízením, systémy pro autonomní roboty vyhledávající a přinášení věcí ve skladu nebo dokonce jako navigace nevidomým vyžadující další informace. Tyto informace jsou zásadní pro poskytnutí volného pohybu při využití vnitřní navigace pro zjištění přítomnosti objektů, překážek, přechodů a informací o přístupnosti [3].

Při konstrukci vnitřních map je potřeba navrhnout základní komponenty: topografii, senzory a navigaci, která bude využita při konstrukci vnitřních map v 3D geometrii. Dále v návaznosti na roboty a autonomní systémy byla vytvořena mapová reprezentace dat skládající se ze sedmi komponent kategorizujících se do pěti vrstev, představující budovy, které by měly pokrýt všechny problémy a výzvy nalezené ve vnitřní navigaci pomocí robotů a autonomních systémů [5] [6].

3.1.6 Problémy a výzvy

Studie zkoumaly různé oblasti související s problémy vnitřní navigace při použití zrakově postiženými lidmi, asistenčními technologiemi a vnitřními navigačními systémy. Velká většina problémů našla řešení při použití široké škály technologií a algoritmů zabudovaných přímo v zařízeních a systémech, a to jak v nízko-technologických zařízeních (bílá hůl, vodící pes a asistenti), tak i v zařízeních technologických (přenosná výpočetní technika, chytré hole a systémy určování polohy uvnitř budov).

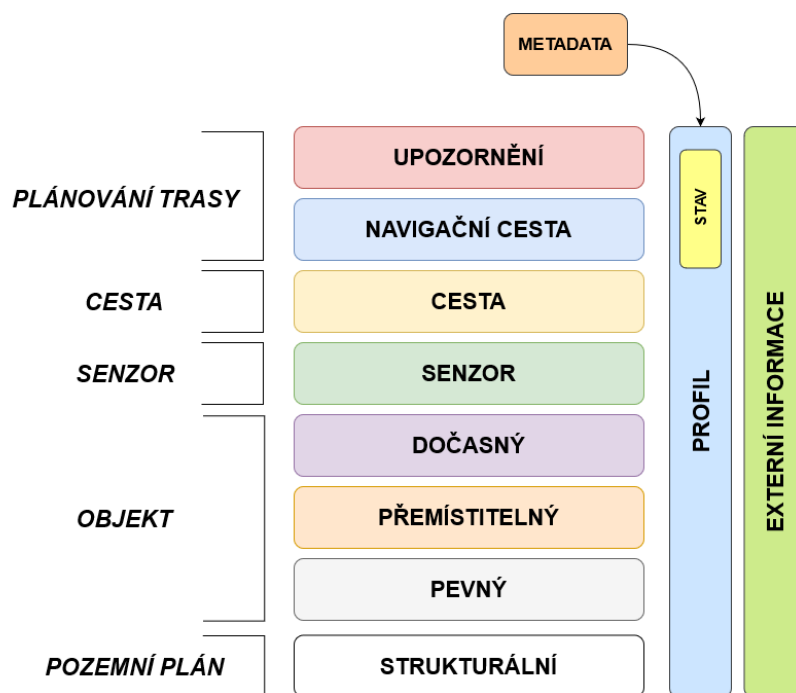
Tabulka 1 shrnuje problémy a výzvy, se kterými se setkávají lidé se zrakovým postižením, navrhuje řešení, která by mohla být použita, a také naznačuje, že většina problémů by mohla být vyřešena, pokud budou zavedeny vnitřní prostorové informace. Z těchto důvodů je důležité vyvinout mapu, do které lze ukládat základní informace, které mohou pomoci lidem se

zrakovým postižením a tím získat větší nezávislost při pohybu a navigaci uvnitř budov i míst, která jsou plná neznámých prvků [7].

3.1.7 Rámec reprezentace mapových dat

Studie vychází při tvorbě mapového rámce z hlavních pěti komponent a dalších rozšiřujících informací poskytovaných do systému za účelem podpory vnitřní navigace pro zrakově postižené. První složkou jsou *navigační vodítka (navigational cues)* což jsou informace týkající se orientačních bodů a dalších užitečných informací pro zajištění zlepšení nezávislosti navigace. Druhou složkou je *varování (warning)*, jedná se o informace o nebezpečných oblastech a místech ve kterých je vyžadována vyšší míra opatrnosti. Třetí a čtvrtou složkou je *profil(profile)* a *stav (state)* představující detail a stav objektů umístěných uvnitř budov a prostor. Poslední pátou složkou je *externí informace (external)*, která zajišťuje informace o externích podmínkách, které vstupují do vnitřní navigace, jako je například počasí a hluk.

Obrázek 1: Konceptuální rámec pro reprezentaci mapových dat



Zdroj: Vlastní zpracování dle International Journal of Chaotic Computing (IJCC), 2016

S ohledem na omezené technologie a předchozí studie, byl vyvinut rámec reprezentace mapových dat pro vnitřní navigace pro zrakově postižené. Jak je vidět na obrázku č. 1 rámec je rozdělen do základních pěti vrstev skládající se z jedenácti komponent, kde tři hlavní komponenty: *profil, stav a externí informace* nejsou kategorizovány ani do jedné z vrstev. I když je tento konceptuální rámec navržen pro lidi se zrakovou poruchou, lze ho také využít pro

autonomní systémy (samojízdná vozidla a robotika), pro zajištění schopnosti detekce okolního prostředí, která bude využitelná na jakémkoliv místě. Například autonomní vozidlo přepravující zdravotně postižené na letištích a v nemocnicích. K řešení problémů je navržen referenční model zobrazený na obr. 2. Definice jednotlivých součástí budou popsány níže:

Strukturální, nejnižší komponenta představuje pozemní rozložení ukazující vztahy mezi místnostmi a přechodovými prostory (např. dveře) pro každé patro budovy tak, aby bylo možno patra propojit (např. schody, eskalátory a výtahy). Tato vrstva také obsahuje informace o rozměrech, velikosti a typu stěn. Tato vrstva je v rámci povinná a obsahuje informace o struktuře budovy a vede k vytvoření konstrukci prostorové reprezentace (vnitřní mapy) v 3D geografii.

Pevné objekty, komponenta obsahující informace o pevných objektech, které jsou trvale instalovány uvnitř budovy, např. nábytek, přechodové prostory, jako jsou dveře, schody, eskalátory a výtahy. Tato skupina dále obsahuje informace o bariérách uvnitř budovy, které by mohli ovlivnit pohyb zrakově postiženým při navigaci, jedná se o odjezdová místa, obrubníky, akce a oblasti s omezeným přístupem (oblasti renovace, rekonstrukce a výstavby). Tento komponent je pro lidi se zrakovým postižením důležitá, protože poskytuje informace týkající se orientačních bodů, které jsou užitečné při navigaci uvnitř budovy s neznámou konfigurací objektů. Pro určení objektů je uvedena klasifikace podle měřítka v části 3.1.9 *Klasifikace objektů*.

Přemístitelné objekty, tato komponenta obsahuje informace o objektech, které mohou být přemístěny či přeskupeny jako nábytek (stůl, židle a odpadkové koše) nebo jiné předměty, které zůstanou ve své poloze na střední až dlouhou dobu, v závislosti na faktoru pohyblivosti upraveném na obrázku č. 3 a tabulce č. 3. Tyto informace jsou nadále využívány při navigaci, kde zastupují navigační bariéry, kterým je se třeba vyhnout. Rozdělení a příklady objektů se nachází v klasifikaci viz. *Pevné objekty*.

Přechodné objekty, tato komponenta obsahuje informace o objektech, které je možné přemístit a vydrží na určitém místě pouze krátkou dobu, například samohybné subjekty (lidé, mazlíčci a roboti). Tato skupina obsahuje informace o náhodných objektech, kterým je potřeba se vyhnout. Tyto objekty se také řadí mezi navigační bariéry a využívá se při podpoře vnitřní navigace, ale také pro měření vnitřní frekventovanosti, plánování vhodné trasy a detekci objektů, jak pro

zrakově postižené, tak při nasazení autonomních systémů. Rozdělení a klasifikace viz. předchozí komponenty.

Senzor, jedná se o speciální prvek, který má schopnost detekovat a vyhodnotit určitou událost a/nebo odeslat informaci o prostoru za konkrétním účelem, například: osvětlení, detektor kouře, WiFi, RFID, kamera, CCTV, spínací senzor dveří a další. Tato komponenta obsahuje informace o rozvržení detektorů a senzorů instalovaných uvnitř budov. Tato součást je nesmírně důležitá při vyvíjení nových navigačních systémů při lokalizaci a navigaci v interiéru, detekci překážek a bezpečnosti a dohledu při pohybu.

Cesta, komponenta obsahující informace o pěších zónách a cestách (chodbách), ale také o místech s omezeným přístupem, umožňující zrakově postiženým poznat jakou zónou a cestou bezpečně cestovat s ohledem na situaci. Tato komponenta může být použita jako součást procesu plánování cest ve vnitřním navigačním systému, ale také pro evakuační systémy. Navíc obsahuje užitečné informace pro proces konstrukce přístupových map.

Navigační pokyny, komponenta obsahující značky a informace týkající se navigačních pokynů při vnitřní navigaci, týkající se objektů (hrany a rohy místností a chodeb), oblastí (křižovatky) a orientačních bodů. Zejména pak informace popisující přechodové prostory jako jsou například u schodů: šířka, výška a hloubka schodu. Tyto informace jsou celkem důležité pro nezávislou navigaci uvnitř budov, které jsou pro danou osobu neznámé.

Varování, tato komponenta obsahuje varovné značky a informace o nebezpečí, které může ohrozit navigovanou osobu, jako například ostré rohy, schody, eskalátory, kluzká podlaha, jámy a zejména skleněné a automatické posuvné dveře. Tato komponenta je užitečná a potřebná pro zajištění volného pohybu při navigaci u prostor s neznámou konfigurací.

Profil, komponenta obsahující metadata oblastí a objektů umístěných nebo instalovaných uvnitř prostoru budovy, zahrnující informace o fyzických údajích o dimenzích, velikosti a typu stěn. Tato komponenta také obsahuje obecné informace o budově jako je stavební profil a informace před návštěvou.

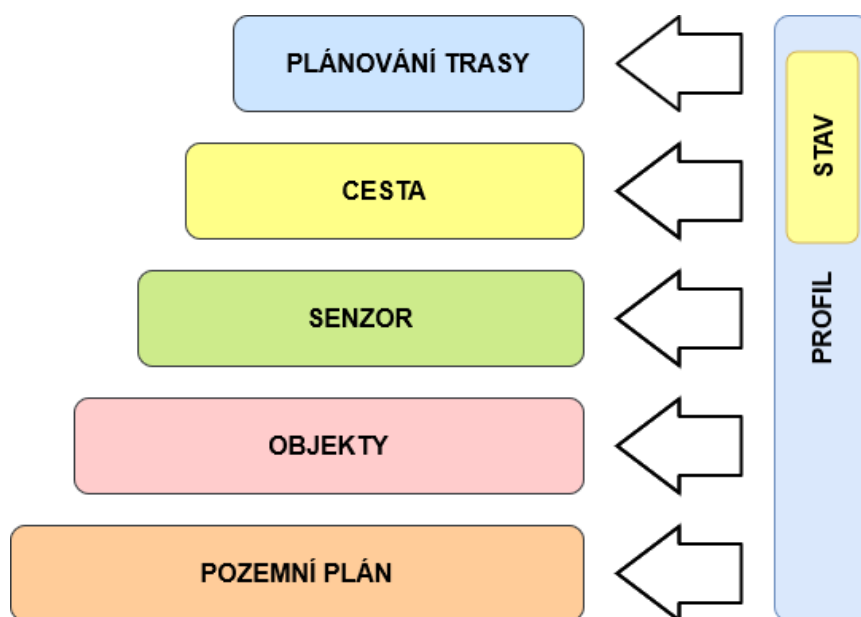
Stav, dílčí komponenta pracující pod komponentou *profil*, která obsahuje informace o aktuálním stavu objektu, zejména u přechodových prostor u dveří, výtahů, eskalátorů a

travelátorů (pohyblivý chodník). Například u dveří („otevřeno“, „zavřeno“), eskalátorů („pohyb nahoru“, „pohyb dolů“) a u výtahu („jízda vzhůru“, „jízda dolů“, „výtah stojí v patře“).

Externí informace, komponenta, která obsahuje informace k podpoře a zlepšení kompenzace pomocí senzorů při vnitřní navigaci. Tento typ informace do jisté míry ovlivňuje, čeho je daná vnitřní navigace schopná uvnitř budovy při použití zrakově postiženými, jako například rozpoznat, zdali prochází světlo okny, troubení automobilů, hluk způsobený deštěm nebo taká hluk způsobený prací na staveništi. Tyto informace jsou důležité zejména pro lidi s mírnou poruchou zraku, kde dotyčná osoba je schopná rozpoznávat světlo a tím i upravit proces hledání cest pro snazší navigaci [8] [5].

3.1.8 Referenční model

Obrázek 2: Referenční model pro architekturu reprezentace mapových dat



Zdroj: Vlastní zpracování dle International Journal of Chaotic Computing (IJCC), 2016

Při zohlednění grafu (viz obr. 1) a definic, jsou vrstvy v rámci uspořádány v referenčním modelu dle pravidel návrhového vzoru. Vnitřní prostorové informace jsou reprezentovány kolekcí dat a mapováním vztahů mezi vrstvami referenčního modelu (viz obr. 2). Jak je zřejmé nejdůležitější komponentou mapy je *návrh* a *prostorová návaznost*. Pro vizualizaci budovy v 3D geografii, kde by měla být vnitřní prostorová reprezentace konstruována s nutností spodní vrstvy, která se označuje *pozemní plán* (úroveň 1). Vrstva *objekty* (úroveň 2), jako druhá reprezentuje a kombinuje informace spojené s instalovanými objekty v budově a prostorech, stejně tak vrstva *senzory* (úroveň 3), která je primárně navržena pro vnitřní navigační systémy.

V návrhu rámce je tato vrstva rozšířena o větší škálu senzorů (kamery, světla, magnetické kontakty, ultrazvuk, IR, kouřové a tepelné detektory atd.), jejichž informace mohou být využity pro různé účely jako jsou zabezpečení a dohled, detekce překážek a světla, která může být využito pro osoby u kterých zůstalo vnímání světla. *Úroveň 4* umístěna jako vrstva *cesta*, poskytuje informace o přístupných oblastech dosažitelných pěší chůzí, zatímco horní vrstva *plánování trasy (úroveň 5)*, přináší informace o volném pohybu a varováních o nebezpečích a objektech u kterých je nutná zvýšená míra opatrnosti při jejich užívání, jako jsou již zmiňované eskalátory a schody [3] [7].

Tabulka 2: Design rámce a jeho potenciální aplikace (řazen ze spodu)

Úroveň	Popis	Aplikace
5 – Hledání cest	Navigační pokyny a varovné informace	Vnitřní navigace pro osoby s postižením, Přístupová mapa (interaktivní)
4 – Cesta	Pěší zóny a cesty	Vnitřní navigace pro autonomní systémy a roboty, Plánování cest
3 – Senzor	Kamera, WiFi, RFID a další	Vnitřní pozicovací systém, Síťové plánování, Ochrana a Dohled, Detekce překážek
2 – Objekt	Pevné, přemístitelné a dočasné objekty	Pozemní plán interiéru, Prostorové povědomí, Přístupová mapa
1 – Strukturální	Relace mezi místnostmi, prostory a vstupy	Pozemní plán (obecná vnitřní mapa)

Zdroj: Vlastní zpracování dle Sensors, 2016

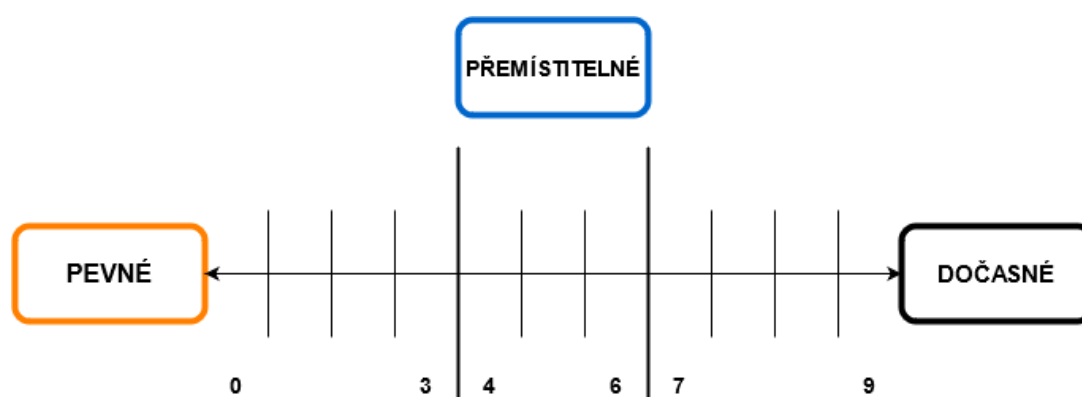
Pro zabezpečení bezbariérové navigace vnitřních prostor pro nevidomé, je stěžejní poskládat veškeré informace o všech objektech, které jsou umístěny či instalovány ve vnitřních prostorech budov. Tyto informace se dělí do dvou skupin: *profil* a *stav*, které nejsou zařazeny ani do jedné z pěti vrstev. Popis (profil) a stav objektů jsou integrovány do mapové reprezentace dat současně při sestavení (kompilaci) ostatních pěti vrstev. V referenčním modelu komponenta *externí informace* může být zahrnuta, při zvážení nutnosti dat o počasí, okolním hluku (troubení aut, déšť a výstavba) a světla (slunečný den).

Tabulka 2 ilustruje příklady, kdy a jaká vrstva je aktivní s podporou ostatních vrstev. Spodní vrstva (*úroveň 1*) je zodpovědná za konstrukci pozemního plánu všech pater budovy, také

známá jako obecná vnitřní mapa. Zahrnutím objektů (*úroveň 2*), pozemní plán získá vnitřní informace, které jsou využity pro zvýšení prostorového povědomí zrakově postižených. Vylepšení o informace poskytované senzory (*úroveň 3*), lze využít pro rozšíření aplikací, například kamera: detekce překážek a WiFi: vnitřní umístění a navigační systém. V *úrovni 4* jsou poskytovány vhodné pěší zóny a cesty pro zajištění systémových funkcí a k informování osob o oprávnění vstoupit do dané oblasti. Nakonec, vrstva *hledání cesty (úroveň 4)* je zahrnuta v prostorové reprezentaci a poskytuje informace pro volný pohyb během navigování uvnitř budov [4] [7].

3.1.9 Klasifikace objektů

Obrázek 3: Škálovaná klasifikace vnitřních objektů dle možnosti přesunu



Zdroj: Vlastní zpracování dle Sensors, 2016

V této části jsou objekty rozděleny do třech kategorií, a to na *pevné*, *přemístitelné* a *dočasné*, které jsou dále využívány pro různá použití v navigačních systémech. V konkrétních budovách jako například nemocnice, obchodní dům a letiště, jsou objekty jako výtahy a eskalátory, které jsou klasifikovány jako *pevné* objekty instalované uvnitř, navíc mají transportní (pohybovou) schopnost přesunout něco z bodu A do bodu B. Toto označení může být matoucí při označení lidí jako pohybující se (dočasné) objekty. Pro minimalizaci nejasností, označení objektů je následující:

- 1) *Objekt* je reprezentace fyzického objektu, který se může nacházet kdekoliv, kde je nějaký povrch a lze se ho dotknout. Objekty mohou být rozděleny do třech typových kategorií podle faktoru pohyblivosti.
- 2) *Super Objekt* je kolekce objektů, které dohromady tvoří jeden objekt, který je větší, než byly objekty původní. Pro příklad, skupina objektů umístěná v konstrukci na staveništi.

- 3) *Přechodový objekt* je označení pro objekt, který přichází se schopností přesunout objekt z jednoho stavu do druhého a většinou jsou označovány jako objekty *pevné*, například eskalátory, travelátory a výtahy.
- 4) *Samohybný objekt* je objekt, který ke svému pohybu nevyžaduje žádnou vnější sílu a dokáže se pohybovat samostatně, jako lidé, zvířata, autonomní systémy a roboti.

Tabulka 3: Klasifikace vnitřních objektů dle možnosti přesunu – příklady a definice

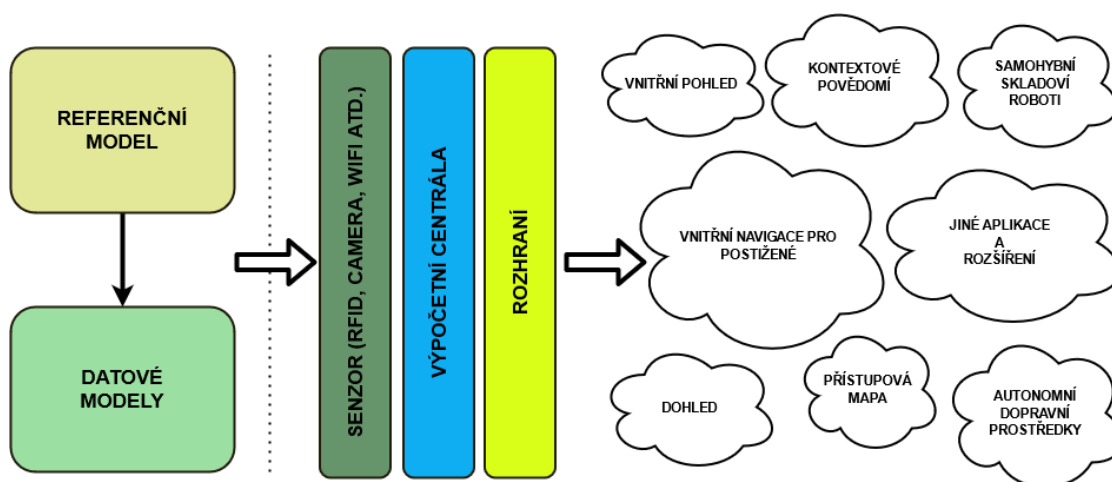
Typ	Měřítko	Definice	Příklad
Pevné objekty	0	Permanentní součást budovy, nelze je změnit	Schody / Chodníky / Dlažba / Odjezdová místa / Nakloněná podlaha / Obrubníky a díry v zemi
	1	Instalovány v budově, nemožné nebo velmi složité oddělení	Výtah / Eskalátory / Travelátory / Ohrady
	2	Instalovány v budově, lze je odstranit	Podlahový / Nástěnný / Vestavěný nábytek / Koupelnové vybavení
	3	Dočasně nainstalované v budově po specificky dlouhou dobu	Konstrukce / Renovace budovy
Přemístitelné objekty	4	Velké objekty, které je těžké přesunout díky jejich fyzickým vlastnostem	Lednice / Mrazák (rodinná velikost)
	5	Střední objekty, které lze přemístit (občasné obtíže)	Stůl / Židle / PC / Pracovní stanice / Květiny
	6	Malé objekty, které jsou snadné přemístit	Odpadkové koše / Koberce / Přenosné vybavení / Hasicí přístroj
Dočasné objekty	7	Nechtěné nebo náhodné objekty	Mokrá podlaha / Opad
	8	Objekty vytvořené dle rozvrhu	Úklid oblasti
	9	Samohybné objekty	Lidé / Mazlíčci / Roboti / Autonomní systémy

Zdroj: Vlastní zpracování dle Sensors, 2016

3.1.10 Aplikace a rozšíření

Pro zvýšení vnitřní prostorové orientace byl vytvořen již zmiňovaný rámec mapové reprezentace dat, využívající referenční model, ukázaný v kapitole 3.1.8 *Referenční model*, zahrnující kombinace vrstev. Tato sekce popisuje, jakou roli bude mít rámec v budoucnu pro vývoj systémů pokrývající všechny zmiňované problémy a výzvy. Kompilací všech vrstev dohromady, budovy získají logickou vizualizaci v 3D geografii, která přináší všechny důležité a potřebné informace, pro použití systému roboty, autonomními systémy a zejména zrakově postiženými lidmi. Další využití lze nalézt u vnitřních systémů uvedených v kapitole č. 3.1.8 *Referenční model*, která prezentuje potenciální aplikace a rozšíření pro budoucí vývoj. Pro příklad, interaktivní přístupová mapa, vnitřní navigace pro osoby s postižením, předpovědácí kontextové systémy pro přizpůsobování se situacím, ochrana a zabezpečení. Toto také vede k použití při konstruování robotů a autonomních systémů různých budov jako je například letiště, nemocnice, muzea, univerzity a další [7].

Obrázek 4: Potenciální aplikace a rozšíření reprezentace mapových dat



Zdroj: Vlastní zpracování dle Sensors, 2018

3.2 Systémy vnitřní navigace

Schopnost vidět je považována za jeden z nejdůležitějších lidských smyslů. Hraje významnou roli v poznání okolí člověka, najít kýžené cíle a vyhodnotit správnou cestu v neznámém prostředí. Ztráta vidění ovlivňuje jak osobní, tak profesní vztahy. Vytváří signifikantní rozdíly v počínání při každodenních činnostech. Globálně je zde počet vědců a inženýrů na vysoké úrovni zabývajících se vývojem řešení elektronické cestovní pomoci (ETA) pro pomoc nevidomým a lidem se zrakovou poruchou (ZP) při orientaci a navigaci. Nicméně jak již bylo zmíněno navigace uvnitř neznámého prostředí je stále nejdůležitějším bodem při navigaci osob ZP. Kvůli slabému a nedostačujícímu signálu GPS, je zapotřebí využít speciálních technik a technologií [9].

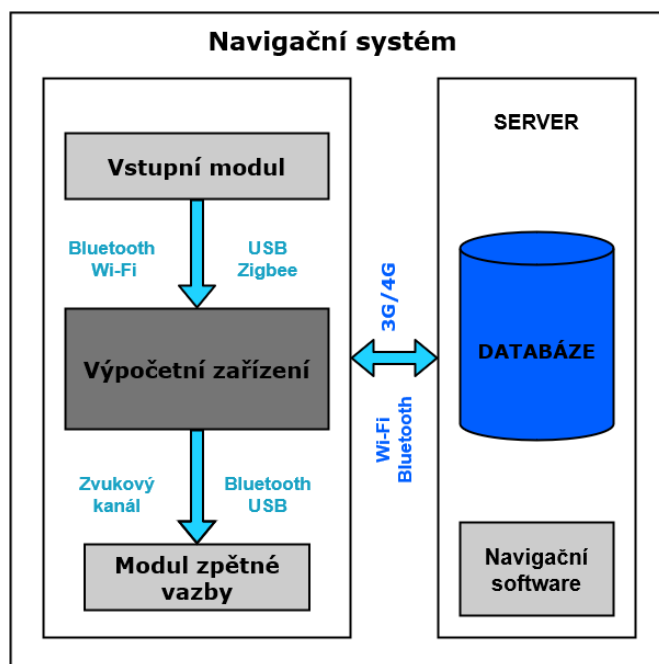
Při vytváření a vývoji nových ETA, je nutné posoudit, porovnat a vyhodnotit existující technologická řešení. Při posuzování publikací z posledních 5 let bylo objeveno jen pár výzkumů a studií zabývajících se pozicováním a vnitřní navigací. Autoři posuzují vnitřní navigační systémy se zaměřením na vnitřní techniky a technologie pozicování. Pozicovací techniky využití pro vnitřní navigační systémy zahrnují vlastnosti signálu a poziční algoritmy. Vědci představili výzkum vnitřní/venkovní přenosné/asistivní zařízení, a tím přinesli stěžejní prezentaci každého systému a zdůraznili jejich síly a limity. Při klasifikaci těchto zařízení, byly využity kvalitativní i kvantitativní techniky při vyhodnocení [10].

Ve studiích byla testována generalizovaná systémová architektura pro senzory, počítačové vidění a ETA založené na bázi smartphonů a přinesly detaily a spolupráci těchto komponent mezi sebou. Jako hlavní omezení stávajících ETA bylo řešení a funkčnost ve velmi omezujícím prostředí, testované systémy postrádaly robustnost a zapojení koncových uživatelů. Kompromis mezi přesností, cenou vývoje a nasazením vnitřního navigačního systému byl označen jako limitující faktor při testování různých technologií. WiFi byla označena za nejvíce ekonomicky proveditelnou alternativu i přes nižší přesnost [10].

3.2.1 Dosavadní vnitřní navigační systémy

Průzkum zabývající se odbornými publikacemi, které popisují systémy pro vnitřní navigaci a variace vnitřních navigačních technologií, popsal, že vnitřní navigační systémy jsou ve většině případů složeny ze dvou částí: přenosná zařízení a server.

Obrázek 5: Složení vnitřního navigačního systému: Přenosné zařízení a server



Zdroj: Vlastní zpracování dle Sensors, 2019

3.2.1.1 Vstupní modul

Vstupní moduly používané ve vnitřních navigačních systémech mohou rozděleny do tří skupin dle použitého senzoru pro navigaci: bezkamerové, kamerové a hybridní. Bezkamerové systémy využívají škálu senzorů pro poznání prostředí a zpětnou reprezentaci dat uživateli. Kamerové systémy využívají živý kamerový přenos nebo fotografie jako hlavní zdroj informací pro reprezentaci okolí. Hybridní systémy využívají oba vstupy [11].

Bezkamerové systémy

Bezkamerové systémy jsou běžně používané pro průmyslové nasazení a jsou obvyklé pro navigaci robotů. Průmyslový systém vnitřní navigace využívá síť tagů senzorů (Identifikace radiovou frekvencí (RFID), Near-field Communication (NFC), Bluetooth Low Energy (BLE) a Ultra-Wideband (UWB)) pro rychlejší identifikaci různých předmětů ve větších skladištích. Metody založené na WiFi a magnetickém poli jsou často navrhovány pro použití vnitřní lokalizaci. Byla navržena adaptace těchto technologií pro vyřešení problémů vnitřních navigací

při použití osobami ZP. Aby bylo možné zaznamenávat a mapovat pohyb těchto osob při užití bezkamerových systémů, je zapotřebí, aby byla osoba vybavena vyhrazeným vybavením (tag nebo čtečkou tagů, smartphonem nebo jiným přijímačem/transmitterem) při pohybu v jejich okolí. Elektronické značky obsahují informace, které jsou využity pro vyhledání dodatečných informací z databáze a lokace uživatele v mapě. Počet tagů, potřebných pro vnitřní navigaci, se odvíjí od použité technologie senzorů. Na příklad, RFID tagy mohou být aktivní (operační vzdálenost $\leq 40 \text{ m} \leq 1 \text{ km}$) nebo pasivní (operační vzdálenost $\leq 0,5 \text{ m} \leq 10 \text{ m}$) a jejich počet se odvíjí přímo od místa nasazení a požadované přesnosti. Aktivní RFID tagy mají mnohem širší operační dosah, ale na druhou stranu vyžadují baterie, a tím pádem i potřebnou občasnou údržbu [12] [13] [14].

Systémy využívající technologii NFC tagy nevyžadují oddělený skener, protože ve většině zařízení je již zabudovaný a dostupný. Systém disponuje vysokou přesností, ačkoliv díky relativně nízké operační vzdálenosti (do několika cm) detekce tagu zabudovaných v prostorách může být obtížná [15].

Bluetooth Low Energy (BLE) je další technologie, která může být využita pro vytvoření sítě navigačních tagů. V porovnání s NFC má větší operační vzdálenost (do 75 m) a nevyžaduje tak vysoký počet tagů pro pokrytí určité oblasti. Dosahuje přesnosti 1-2 m, která se odvíjí od šíření signálu. Výhodou systému založených na BLE je, že při hledání cesty pro ZP nevyžadují konzistentní znalost polohy uživatele. Je nutné navigovat uživatele přesněji u významných bodů vnitřního prostoru (například schody, výtahy atd.) [16].

Ultra-Wideband (UWB) technologie pro vnitřní lokalizaci je relativně přesná ($\pm 0,15 \text{ m}$, 95% jistota intervalu pro určení pozice uživatele) a nevyžaduje přímou viditelnost mezi tagem a senzorem. Signály UWB jsou obecně využívány pro pozicování a orientaci. Tato technologie byla využita při tvorbě systému SUGAR (vnitřní navigační systém pro zrakově postižené, který využívá právě UWB), který pomáhá ZP s vnitřní navigací. Sensory UWB mají operační vzdálenost dosahující 90 metrů v low-data-transfer módu, což dělá tuto technologii ideální pro nasazení ve větších komplexech [17].

IR senzory pro vnitřní navigaci jsou typicky používány určení vzdálenosti od překážky. Operační vzdáleno pozicování na bázi IR dokáže dosáhnout 0,2-14 m. Pro příklad Time-of-Flight (ToF) senzory zvládnou měřit vzdálenost pomocí emitováním pulzů IR světla a měří čas,

za který se světlo vrátí zpět. Senzor měří vzdálenost do 14 m s 0,005 m rozlišením a přesností 0,04 m. Tyto systémy vyžadují přímý vizuální kontakt mezi senzory. Krátká operační vzdálenost pozicovacích systémů založených na IR dělá tyto systémy komplikované a neefektivní [18].

Studie prezentovaly algoritmus pro výpočet pozice uživatele vybaveným síťovým přijímačem. Například jeden z prvních více známých infračerveným (IR) vnitřních pozičních systémů je Active Badges systém pro nalezení osob v místnosti. Uživatel je vybaven zařízením Active Badges, které emituje krátké IR pulzy, obsahující unikátní identifikátor o frekvenci 0,07 Hz. Signál je zaznamenán sítí stacionárních IR přijímačů uvnitř budovy a využívá je pro lokalizaci. Dle tohoto principu došlo k vytvoření sítě o 16 IR transmiterech, které kontinuálně monitorovaly polohu uživatele, a došlo k nasazení této sítě do vnitřního prostředí. Naneštěstí tento algoritmus neškáloval dobře kvůli potřebné paměti pro simultánní výpočet několika cest ve větším prostoru [19].

Jedna z méně známých metod užívaných pro vnitřní navigace je využití magnetického pole pro lokalizaci. Tento přístup využívá magnetický tvar budov, vytvořené vnitřní konstrukcí jako je ocel a další materiály, které interagují s magnetickým polem Země. Zatímco přirozené magnetické pole je jednotvárné, feromagnetické materiály využitě pro výstavbu moderních budov (ocelové prvky, dveře, výtahy atd.) vytvářejí rušení, které následně formuje magnetický tvar dané budovy. Tyto rušení vytvářejí anomálie, při použití vyhledání směru touto metodou. Jedním takovým systémem je GROPING (Geomagnetism and cROwdsensing Powered Indoor NaviGation), jedná se o all-in-one systém, který zahrnuje tvorbu map, lokalizaci a navigaci. GROPING je založený na geomagnetickém poli, díky kterému charakterizuje vnitřní prostory. Řešení kombinuje dvě hlavní funkce: snímání magnetických otisků a jednoduchou lokalizaci. Kombinací těchto funkcí využívá crowdsensing (snímání a sdílení dat velkých skupin jednotlivců vybavených mobilním zařízením) pro získání magnetických otisků, které jsou následně využity pro tvorbu map jednotlivých podlaží z množiny trajektorií pohybu. Poté co je vytvořena mapa, měření živého magnetického pole je použito pro určení místa uživatele v mapě otisků. Tyto systémy založené na magnetickém poli nevyžadují žádné přídavné vybavení na straně uživatele. Vyžadují pouze obyčejný smartphone vybavený akcelerometrem, gyroskopem a magnetometrem a je dostatečný pro registraci změn magnetického pole a uskutečnění kalkulace potřebné pro lokalizaci a navigaci. Naneštěstí zatím nebyly vyvinuty žádné ETA s využitím této technologie, které by byly vhodné pro užití ZP [20].

Několik systému využilo pro vnitřní lokalizaci a navigaci hotspoty WiFi. Lokalizační metody založené na principu RSSI (Indikátor síly přijatého signálu), kdy síla signálu vysílaného z klientského zařízení do několika různých přístupových bodů je základem pro určení polohy díky triangulačním technikám. RSSI lze rozšířit o metodu otisků, jako tomu je u lokalizace pomocí magnetického pole, ale na rozdíl od něj je tvořen otisk prostoru předem a je popsán doplňujícími informacemi potřebnými pro další lokalizaci. Nerozšířená metoda RSSI vyhodnocuje pozici pomocí triangulace v reálném čase, rozšířená na druhou stranu vybírá informace o pozici z databáze díky shodě otisků. RSSI WiFi systémy poskytují přesnost o mediánu $\pm 0,6$ m a trpí na dynamické překážky, které interagují s radiovým šířením. Pro zvýšení efektivity a přesnosti těchto metod, byla využita jedinečnost pokrytí WiFi pro překrytí jednotlivých zón vytvořených přístupovými body (APs). Experimentální výsledky demonstrovaly, že tato metoda dokáže potlačit vliv různorodosti zařízení a minimalizuje velikost databáze otisků, a tím pádem zvýšit i efektivitu lokalizace [21] [22].

Bezkamerové technologie použité pro vnitřní navigační systémy pro ZP mají své výhody ale i limitace. Výběr vhodné technologie je ovlivněn mnoha faktory, které následně charakterizují oblast zájmu pro nasazení. Z technického pohledu, UWB mohu být preferovanou volbou pro případy, kdy je nutná vysoká přesnost. Ačkoliv cena nasazení, vytvoření infrastruktury a nižší životnost baterií navigačních tagů vyžaduje kompromis mezi přesností a operační vzdáleností. BLE jsou méně přesné jak UWB, ale jsou flexibilnější a je jednodušší jejich nasazení. RFID tagy jsou levnější než tagy UWB, jinak celkově jsou srovnatelné. IR je jen velmi vzácně nasazeno pro vnitřní navigační systémy, protože se potýkají s obtížemi při detekování průhledných objektů, jako jsou například skleněné dveře a okna. Technologie WiFi a magnetické pole jsou velice zajímavé při konstrukci vnitřní navigace a v dnešní době jsou velice atraktivní. WiFi je již hojně používána a dostupná uvnitř budov. Magnetické pole nevyžaduje žádný zásah do infrastruktury, aby mohlo být nasazené. Avšak limitace těchto systému musí být brány v potaz. Přesnost WiFi systémů je ovlivněna počtem různých klientských zařízení, chvilkové změny okolního prostředí a využití materiálů při výstavbě budovy, které interagují s radiovým signálem. Technologie využívající magnetické pole jsou náchylné na změnu hodnoty vektoru magnetického pole při změně pozice a orientaci klientského zařízení, rychlosti chůze, a dokonce i výška ve které je zařízení drženo [23].

Kamerové systémy

Kamerové systémy využívají jako hlavní zdroj informací video kameru. Takovéto systémy jsou schopné rozpoznávat objekty a zakomponovat je do funkcionality navigace. Podle typu kamerového senzoru, vstup lze rozdělit do následujících kategorií: jednoduchá kamera (charge-coupled device (CCD), complementary metal-oxid-semiconductor (CMOS) kamerový snímač) a 3D kamery [24].

V systémech založených na jednoduché kameře jsou použity zařízení bez hloubkového senzoru. Navrhuje se, na základě poznatků z bezkamerových systémů, aby byly použity indukční značky (ARuco, QR kódy), jako alternativa k výpočetně náročné video analýze. Značky zjednoduší komplexní zpracování videa a systém se zaměřuje na poznávání konečného počtu značek umístěných v prostoru. Bylo testováno rozpoznání QR kódů při různých světelných podmínkách a různých velikostech značek a úrovních rozmazání. QR kódy byly jednoduše detekovány při nízkých světelných podmínkách a rozmazání obrazu do 60 %. Byla zkoušena detekce překážek a nalezení nejkratší možné cesty za použití jednoduché web kamery bez výpočetně náročného hardwaru a ZP byly schopné dosáhnout cílového místa. Zpětné zkoumání výsledků ukázalo, že efektivita tohoto systému dosahovala 80 % implementací algoritmů CAMShift a D* [25].

V případě 3D kamer, vnitřní navigační systémy je možné dělit na ToF (čas letu) a hloubkové senzory (RGB-D). Oba systémy jsou schopny detekovat objekty/překážky a odhadnout jejich vzdálenost. Bez ohledu na to, jaký typ kamery je použit, systém pracuje podobným způsobem. Lokalizace pozice uživatele v místnosti je vypočtena pomocí vizuální odometrie s využitím ToF a RGB-D kamer.

V ToF kamerách je použit senzor IR ToF, který osvětlí plochu modulovaným infračerveným světlem a je schopen měřit vzdálenost do 5 m s přesností $\pm 0,01$ m. Pro odhad pozice, je 3D rozsah dat ToF kamery je zaznamenáván a následně je tvořena 3D bodová cloudová mapa. Metoda vnitřní lokalizace na základě ToF kamer předčila očekávání benchmarků. Tyto systémy zvládnou určit polohu rychleji a přesněji než například systémy SLAM používané pro autonomní vozidla. Byl vytvořen systém využívající ToF kamery jak pro určení pozice, tak i pro detekci objektů v neznámém prostředí. Tento systém měl úspěšnost vyšší jak 86,7 % pro identifikaci objektů, při použití GMM (Gaussian mixture model). Algoritmus pro graf pozice užívaný pro její odhad, dosahuje lepších výsledků v snížení počtu chyb finální pozice, než tomu

je u metody dead reckoning. V další studii byla ToF kamera použita jako hlavní senzor při navrhování systému, díky své malé velikosti a potřebě celkem malé výpočetní kapacity. Tyto aspekty mohou vézt k lepším výsledkům v určení polohy a detekci překážek. Tento systém umožnil vyhledávání cest, vyhýbání se překážkám a detekci 3D objektů. Unikátnosti systém dosáhl díky vytvořenému optickému procesoru v 40 nm CMOS, který úspěšně detekoval objekty a vypočetl bezpečnou vzdálenost ve více směrech při korekci umístění kamery, díky údajům o poloze z inerciální měřicí jednotky (IMU) [11] [26].

RGB-D kamery používají barevné senzory, které berou RGB hodnoty a IR hloubkový senzor, který pořizuje hloubková data s vysokou přesností. IR světlo je využito pro získání hloubkových dat. Měrná vzdálenost se pohybuje v rozmezí 10 m, je závislá na výkonové přesnosti, scéně a světelných podmínkách. Studie ukázala, že použití dvou RGB-D kamer na různých částech těla (jedna umístěná na hlavě a druhá na pasu) umožní uživateli vydat se do navigovaného směru a kontroloval nebezpečí poblíž jejich chodidel. Z výsledků studie bylo vyvozeno, že bezpečnost a robustnost může být zlepšena při kombinaci vnímání prostředí a detekcí nízko položených překážek. Byly vytvořeny vnitřní navigační systémy, které využívají kamery pro zachycení pozemního plánu a RGB-D kamery pro lokalizaci uživatele a detekci stěn a rohů. Při zachycení orientačního bodu v korespondující funkci digitálního pozemního plánu, systém lokalizuje uživatele a poskytne mu zvukové instrukce pro navedení do cílového místa. Chyba lokalizace ve většině případů je do 0,2 m, což je dostatečné pro navigaci. Studie dále přinesly dvě techniky, jak určit lokaci: první bez odometrie, která rozpozná pohled uživatele díky zachycení orientačního bodu kamerou. A druhá využívající právě RGB-D kamery, která vypočítává relativní pozici uživatele mezi nynější a předchozí, založena na odometrických mírách [27].

Hybridní systémy

Hybridní vnitřní navigační systémy jsou většinou složeny z navigačních tagů vybrané technologie a zařízení na zpracování obrazu. Studie prezentovaly hybridní navigační systém s využitím Google Tango, zařízení pro zpracování videa a BLE pro lokalizaci. Toto zařízení bylo navrženo pro vytvoření 2D plánu pro každé patro pomocí afinní transformační funkce z knihovny OpenCV. Jiný systém využíval RGB kamery, radiovou frekvenci (RF) a vizuálního značení pro zlepšení lokalizace. Bylo zaznamenáno, že vstupy hybridních systémů fungují lépe než samotné BLE systémy, i když byly stejně úspěšné při rychlosti a bezpečnosti navigace uživatele do cílového místa, jen s minimálními zásahy ze strany tvůrců systému [28].

3.2.1.2 Výpočetní modul

Hardware používaný pro návrh navigačního systému může být rozdělen do skupin: běžné komunikační zařízení, výpočetní zařízení a kombinované. Běžné komunikační zařízení (smartphony) nabízí dobře fungující ekosystém některých potřebných senzorů a komunikačních elementů. Výpočetní zařízení (např. Arduino, Raspberry Pi) jsou většinou použity pro případy rozšíření funkčnosti existujících běžných zařízení, pro určité aplikace.

I když je většina popsaných systémů ve fázi vývoje, PC jsou většinou využívány pro zpracování dat, ukládání a realizaci komplexních navigačních algoritmů a algoritmů pro zpracování videa. Běžné komunikační zařízení, jako například smartphony a tablety, nabízí pohodlný způsob řešení problémů. Tato zařízení zajišťují standardizovaný přenos dat (přes Bluetooth, WiFi, 3G/4G) mezi přenosným zařízením a serverem. Jsou vybaveny IMU, krokoměrem a IR senzorem. Všechny tyto senzory a integrované kamery nebo 3D kamery napomáhají k vývoji nových aplikací pro řešení konkrétních problémů a pro využití stávajících systémů [15] [11].

Výpočetní zařízení, jako jsou aplikačně orientované integrované obvody (ASIC), mikrokontrolery nebo minipočítače, jsou preferovány v situacích, kdy není dostupný senzor či kamera na běžném zařízení, ale systémem je vyžadována. Nízkozpočtové systémy na bázi mikrokontrolerů (Arduino nebo ARM) jsou většinou velmi atraktivní v raných fázích vývoje. Když je pro danou úlohu systému vyžadována větší výpočetní síla a flexibilita jsou preferovány systémy Raspberry Pi, ty dovolují implementaci programovacího jazyka Python [26].

V některých případech jsou použity oba typy zařízení pro zlepšení výkonu. Např. smartphone je využit pro výměnu dat s výpočetním zařízením a se zařízením poskytujícím zpětnou vazbu uživateli. Výjimečně jsou využity mikropočítače pro přenos video dat se serverem pro budoucí zpracování [29].

3.2.1.3 Modul pro zpětnou vazbu

Zpracované informace o prostředí jsou přenášeny k uživateli pomocí tří kanálů: zvuk, dotek/hmat nebo obraz. Každá z těchto metod má svoje výhody a nevýhody.

ZP osoby se primárně spoléhají na zvukové vnímání prostředí. Mnoho zahrnutých studií vybralo právě tento kanál pro komunikaci mezi uživatelem a systémem. V mnoha případech se

lze setkat se systémem, který využívá obyčejná sluchátka, která zakrývají celou plochu ucha, a to má za následek ztrátu či omezení zvukové prostorové orientace. Alternativní řešení, které neomezuje schopnost vnímat prostředí a zároveň získat zpětnou vazbu systému, je formou speciálně navržených mini sluchátek a sluchátek využívajících technologii kostního vedení [30].

Hmatový přenos byl dlouho používán jako hlavní způsob přenosu přijatých a zpracovaných informací z vysílače. Původní a nejjednodušší forma hmatové pomoci pro ZP je bílá hůl. Obvykle má pouze jednu funkci, a to identifikovat překážku, která se nachází poblíž uživatele. V dnešní době proběhlo mnoho pokusů o vylepšení funkcionality bílé hole využívající různé technologie, například byly přidány vibrační motory nebo funkce zvukové pomoci/navigace. Navigace pomocí vibračních motorů je realizována umístěním těchto motorů přímo na hůl a zvukové povely jsou přehrány do sluchátek. Navíc vibrační navigace může být zabudována v opasku pomocí vibračních motorů, které mohou informovat uživatele o překážkách vedle nich nebo ve výšce jejich těla [27] [28].

Přenos informací využívající obraz (označovány jako inteligentní lupy) jsou navrženy pro zlepšení vizuálních schopností uživatele nebo pro rozšíření zorného pole osob s poruchou zvanou tunelová vize [31].

4 Návrh vnitřního navigačního systému

Základní návrh navigačního systému se bude skládat ze třech hlavních částí. První část se bude věnovat vytvoření a implementaci vnitřní mapy budovy. Druhá část bude zaměřena na užití pomocných prvků uvnitř budovy pro nevidomé a poslední část bude směřována k technickým prostředkům usnadňující pohyb uvnitř budovy. Výsledkem by měl být jednoduchý, ale komplexní systém, který usnadní osobám se zhoršeným zrakem pohyb v neznámém objektu.

4.1 Tvorba vnitřní mapy

K vytvoření vnitřní mapy bude použit webový nástroj WRLD3D, jedná se o webová nástroj pro zaznamenání a vytvoření vnitřní mapy, který poskytuje uživateli navrhnout, sdílet a implementovat vnitřní mapu jakéhokoliv objektu.

Tento nástroj poskytuje rozhraní nejen pro potřeby vnitřní navigace pro zrakově postižené, ale také nabízí velikou škálu využití v jiných odvětvích jako například IOT, VR a AR. Jedna z významných funkcí této webové aplikace jsou Software development kity (zkráceně devkit) pro jednotlivé platformy. Jedná se o balíčky poskytující možnost vytvoření aplikací pro jednotlivé systémy. WRLD3D disponuje devkitem pro UNITY, Javascript, Android a IOS. Pro budoucí vytvoření programu navigace je tato možnost esenciální.

4.1.1 Vytvoření vnitřní mapy pomocí software WRLD3D

Prvním krokem pro vytvoření vlastní vnitřní mapy pro navigaci pomocí softwaru WRLD3D je vybrání objektu, pro který bude mapa vytvořena. V prvním případě se lze setkat s faktem, že je již mapa vytvořená od jiné osoby/firmy. V obecných podmínkách užívání aplikace je uvedeno, že veškerý obsah, který autoři sdílí do veřejné mapy jsou přístupné všem, a proto není problém využít mapu, kterou už někdo jiný vytvořil. V druhém případě mapa vytvořená pro objekt není (například pro vlastní dům, zahradu apod.). U těchto vlastních objektů je na místě zvážit vytvoření mapy, z důvodů ochrany osobních citlivých dat týkajících se rozložení místností, vchodů, oken a nábytku.

Pro zahájení tvorby nové mapy je zapotřebí tzv. claim budovy. Jedná se o potvrzení místa, ke kterému chceme vytvořit mapu. Pomocí interaktivní mapy aplikace je vybrání objektu velmi

jednoduché a rychlé viz. obrázek 6. Poté co je místo vybráno je zapotřebí vyčkat na autorizaci, která ověří, zda místo nebylo potvrzeno někým jiným. Tato akce vyžaduje vyčkání několik minut s následným příchodem potvrzovacího emailu.

Obrázek 6: Pohled na objekt



Zdroj: Vlastní zpracování dle map WRLD3D

V další fázi je nutné vytvořit samotnou mapu, která se do aplikace nahraje. Samotné WRLD3D doporučuje využití programu QGIS. Ze samotné interaktivní mapy je možné stáhnout vnější křivky objektu pro jednotlivá patra ve vektorové vrstvě geojson, která je softwarem QGIS podporována.

4.1.1.1 Tvorba mapy v prostředí QGIS

Program QGIS je geografický informační systém (GIS) s otevřeným kódem a obecnou licencí GNU GPL. Vznik projektu se datuje do roku 2002. Později, v roce 2009, vyšla první verze s označením 1.0. Mezi hlavní klady patří rychlý vývoj a navyšování funkcionality díky právě otevřenému kódu softwaru. Licence GNU GPL poskytuje software i pro komerční použití. Hlavní výhodou softwaru je možnost vytváření modifikací zvaných plugin a jejich následné šíření mezi uživateli. Z dnešního pohledu jsou intenzivně v pravidelných intervalech publikovány nové verze – stabilní verze (LTR) a dvě krátkodobé.

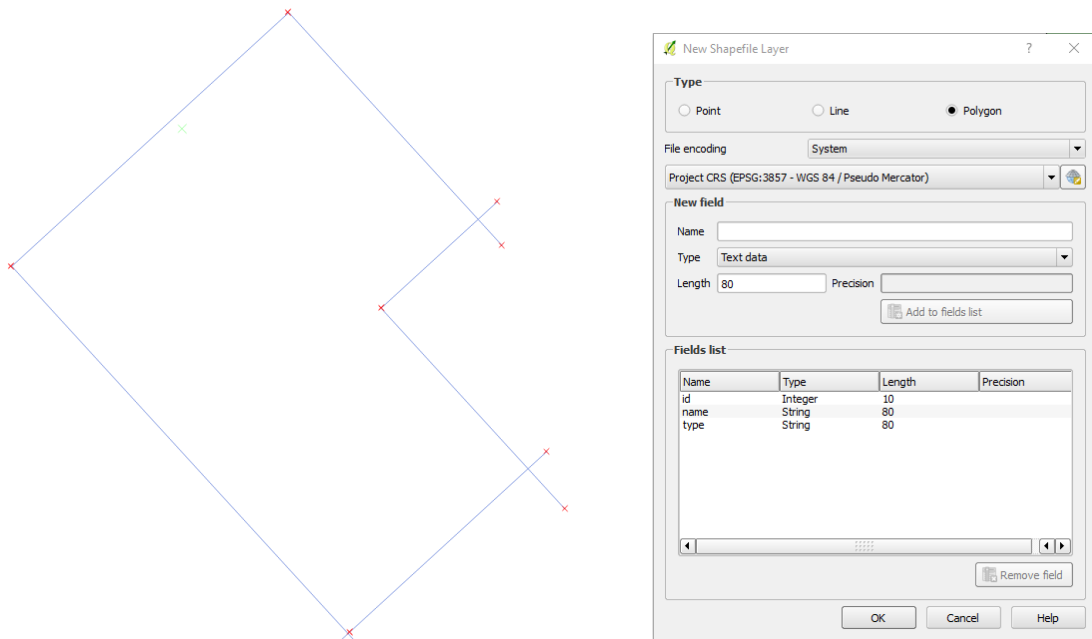
Software je navržen v programovacím jazyce C++ doplněn o uživatelské prostředí vytvořené díky knihovně Qt. Pomocí těchto programovacích prostředků je QGIS možno využít

multiplatformě, na většině dnes používaných zařízeních jako je například Windows, Linux atd. Pro práci s geografickými daty QGIS využívá knihovny GDAL, které umožňují práci jak s vektorovými, tak rastrovými daty.

Pro vytvoření vnitřní mapy a související instruktážní videa společnosti WRLD3D doporučuje verzi programu QGIS 2.18.0 Las Palmas. Prvním krokem pro vytvoření mapy je správné nastavení referenčního souřadnicového systému, který pro účely WRLD3D je WGS 84 / Pseudo Mercator EPSG:3857. Toto nastavení je stěžejní pro správné zobrazení a následné uložení polygonů zobrazující pokoje, okna, vybavení a další. Obecně referenční souřadnicový systém označuje zobrazení každého bodu na Zemi pomocí třech bodů (zeměpisná šířka, délka a výška) vyjádřenými souřadnicemi.

V dalším kroku je zapotřebí upravit stávající vnější obrys objektu. Vnější obrys je k dispozici ke stažení rovnou z interaktivní mapy. Tento obrys je generován pomocí zdrojů třetích stran jako například Open Street Map, a nemusí mít dodržené rovnoběžnost a kolmost stěn objektu. Nejjednodušším způsobem, jak odstranit tyto problémy, je navrhnutí vlastního liniového nákresu, který bude z velké části odpovídat získanému z webu. Toho docílíme přes přidání nové vektorové vrstvy, která bude obsahovat polygon zobrazující objekt. Není vhodné začít tvořit polygon rovnou ze staženého souboru, ale je na místě vytvořit novou liniovou vrstvu, takzvaný náčrt. Pomocí nástrojů (kontrola kolmosti a rovnoběžnosti) poskytovaných softwarem QGIS je možné „obtáhnout“ stěny bez dopuštění se zmiňovaných chyb. Výsledný polygon by měl vzniknout z liniového náčrtku, který by měl být v korektní formě.

Obrázek 7: Opravený půdorys a přidání nové vrstvy



Zdroj: Vlastní zpracování dle oficiálního návodu dle WRLD3D

V další části je nutné vytvořit podklad pro vytvoření jednotlivých záchytných bodů, jako jsou například dveře, okna, místnosti a schodiště. Jednoduchým způsobem, jak docílit přesného zpracování, je přidat rastrovou vrstvu plánu podlaží skrz plugin Georeferencer, který dokáže převést plán pomocí několika záchytných bodů označených jak v plánu, tak v návrhu, do požadovaného referenčního systému souřadnic, a tím se zbavit následných nepřesností.

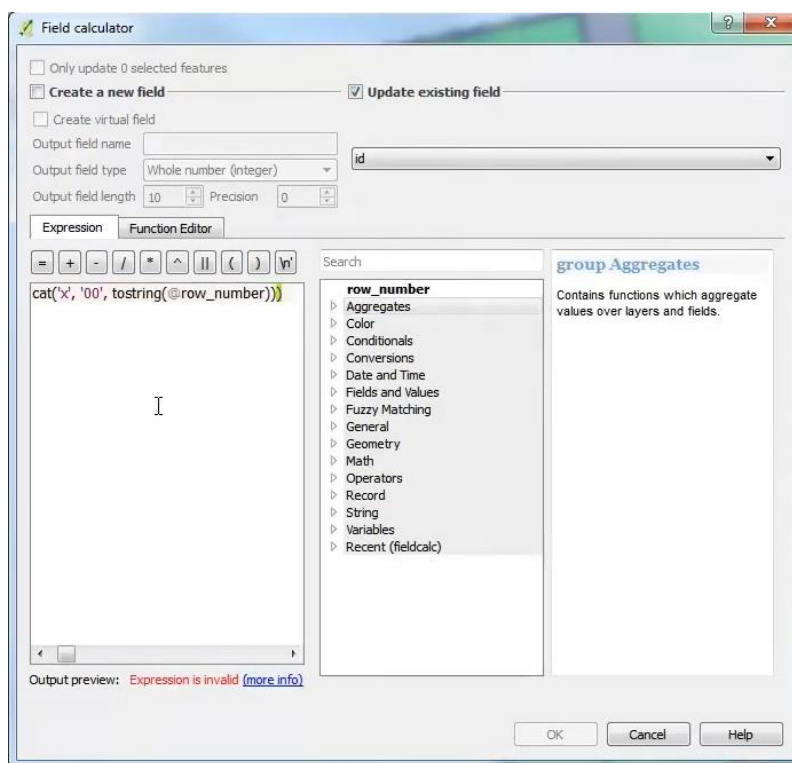
Obrázek 8: Vytvoření stěn, oken a dveří



Zdroj: Oficiální návod dle WRLD3D

Pomocí polygonů a plánu jsou do návrhu následně vyneseny a správně pojmenovány všechny zmiňované záchytné body. Poté je zapotřebí upravit a pojmenovat atributy v atributové tabulce, jako jsou názvy a typy jednotlivých místností (například je nutné uvést označení místností – typ: kancelář; název: kancelář č. 88). Jediné pole tabulky, které zůstává prázdné až do samotného konce, je pole s názvem ID. Toto pole se následně vyplní automaticky pomocí funkce Field Calculator (`toint(concat('x', '00', tostring(@row_number)))`) na úplném závěru tvorby návrhu kvůli zjednodušení při úpravách místností atd., aby nebylo zapotřebí neustále ID měnit během tvorby.

Obrázek 9: Vytvoření hodnoty ID



Zdroj: Vlastní zpracování dle oficiálního návodu dle WRLD3D

V následujícím kroku je nutné vyexportovat návrh do souboru typu geojson. Při exportu je důležité nastavit enkódování na UTF-8 a referenční systém souřadnic na WGS 84 EPSG:4326. Nastavení na tuto hodnotu souřadnicového systému je nutné pro uložení souřadnic zeměpisné výšky a šířky, které nepodporuje EPSG:3857. Tyto body jsou stěžejní pro správné umístění bodů v 3D mapě. Pokud objekt má více pater je nutné opakovat tyto kroky pro ostatní levely budovy s rozdílem generování ID na konci procesu s danou hodnotou X. V posledním kroku je nutné vytvořit asociovaný soubor s informacemi o budově. Tento soubor je následně pojmenován main.json (vytvoření jako prostý textový dokument), jeho předloha je volně ke stažení na webu. Součástí souboru musí být: id budovy, název, vlastník, údaje o poloze hlavního

vchodu, id patra, název patra, údaj o označení patra na výtahu, „z“ souřadnice a název souboru. Následně je vše komprimováno do souboru typu ZIP a odesláno na web ke kontrole.

Obrázek 10: Vytvoření souboru main.json



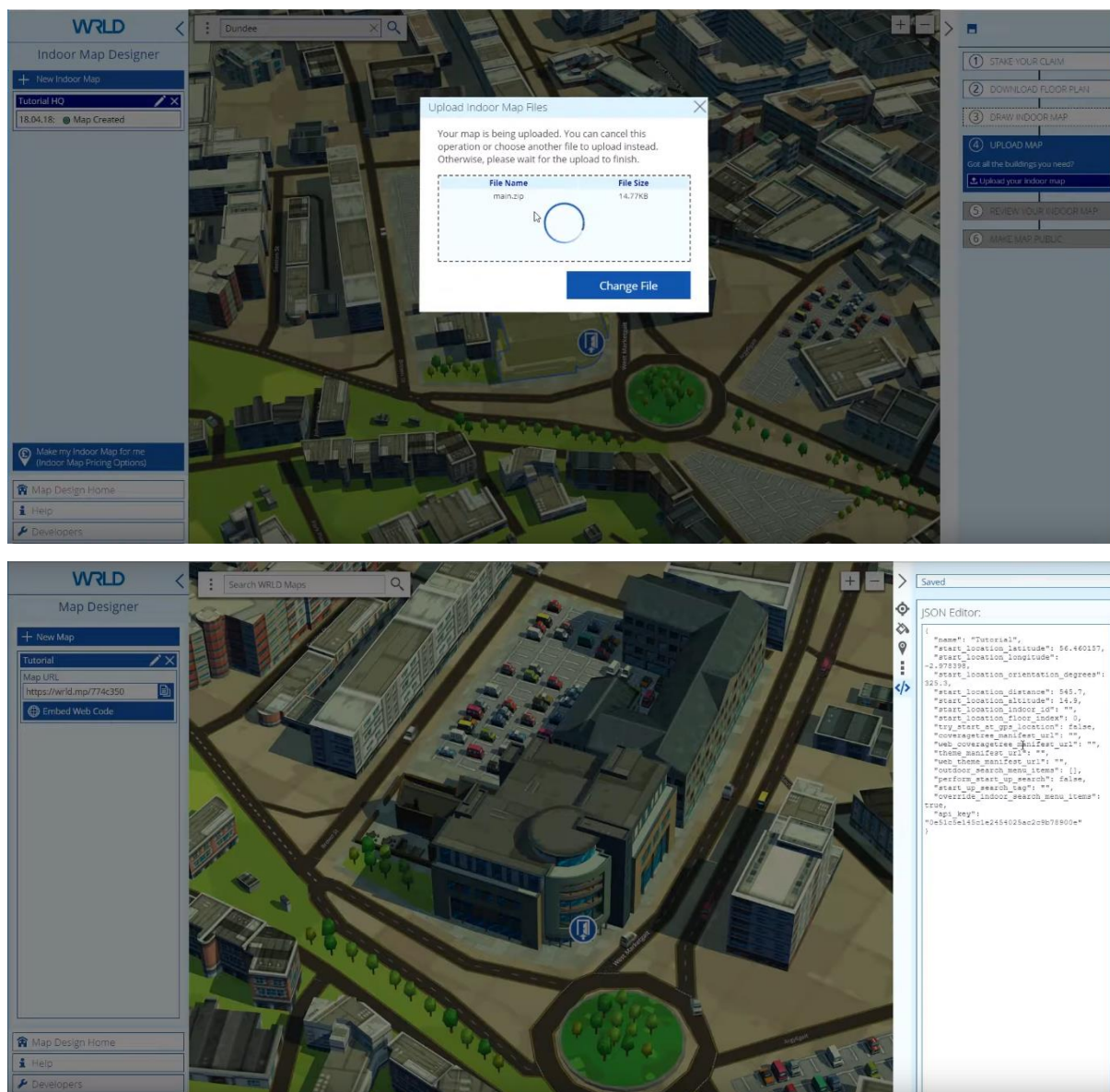
```
1 {
2   "id": "",
3   "name": "",
4   "owner": "",
5   "location": {
6     "type": "Point",
7     "coordinates": []
8   },
9   "levels": [
10    {
11      "id": "",
12      "name": "",
13      "readable_name": "",
14      "z_order": ,
15      "filename": ""
16    }
17  ]
18 }
19
```

Zdroj: Vlastní zpracování dle oficiálního návodu dle WRLD3D

4.1.1.2 Přidání a sdílení mapy

Po úspěšném přidání a ověření vnitřní mapy je potřebné zkontrolovat výsledek nahrávání, zdali se vše nahrálo úspěšně. Poté je nutné přidat mapu do tzv. map designeru. Po úspěšném založení projektu, lze přidat vytvořenou vnitřní mapu pro účely webových stránek a mobilních zařízení. Pro přidání verze mapy pro web stačí přidat úpravu JSON kódu (web_coveragetree_manifest_url) přímo na stránce, viz. obr. 11. Obdobně tomu je i pro mobilní zařízení. Následně je vygenerován kód pro sdílení vytvořené mapy. Posledním bodem v této sekci je položka pro uvedení mapy pro širokou veřejnost, kde je zapotřebí vyplnit kontaktní údaje o budově, jako je například adresa, PSČ a jméno a email vlastníka.

Obrázek 11: Přidání mapy na web



Zdroj: Vlastní zpracování dle oficiálního návodu dle WRLD3D

4.1.1.3 Aktiva budovy

Aktivem budovy je myšleno vybavení, jako je nábytek a vybavení. Pro jeho úspěšné přidání do vnitřní mapy je zapotřebí vymodelovat jednotlivé komponenty v jakémkoliv CAD prostředí, protože web přijímá a podporuje jakékoliv soubory typu „dxť“ a „geojson“. Jejich příklady je možné získat, stejně jako u vnějších obrysů, přímo ze stránek. Následně pomocí jednoduchého editoru je možné vybavit vnitřní mapu rozmístěním objektů, které následně mohou pomoci při navigaci. Stejně, jako tomu bylo v předchozím případě, je možné vnitřní rozložení aktiv uvést veřejně přístupné.

V této kategorii je možné přidat „smart“ prvky mapy, jako jsou například označení dveří, jména zaměstnanců a jejich pozice, kontaktní údaje osob, popisky výtahů, označení pater, telefonní čísla a další. Tyto jednotlivé prvky dělají mapu flexibilní pro budoucí aplikaci v navigaci pro zrakově postižené a usnadní orientaci a komunikaci v neznámém prostředí.

4.1.1.4 Nástroj pro vývojáře

Pro vývoj aplikací s rozšířením o vnitřní mapy je zde vývojářské nástroje. Tyto nástroje dovolují přidat mapy do aplikací pomocí tzv. SDK (Software Development Kit) což je označení pro skupinu nástrojů díky které je možné vytvářet aplikace pro určité systémy. V případě WRLD3D je možné vytvářet aplikace pro web, IOS, android a v prostředí UNITY. Pro využití vytvořené mapy v aplikaci je nutné vygenerovat unikátní API klíč, který bude odkazovat přímo na konkrétní vytvořenou mapu. Pro tento vytvořený klíč je možné přidat několik map budov či míst.

4.1.2 Využití mapy pro navigační systém

Navigační systém pro zrakově postižené bude využívat tuto 3D mapu pro zjednodušení orientace ZP, při průchodu neznámou budovou. Tato 3D mapa bude designovaná přímo na dané místo, a proto odpadá většina problémů vyplývajících z nepřesností a chyb při využití obyčejných vnitřních map. Výrazným pozitivem je možnost pozdější implementace v aplikacích díky nástrojům SDK, které umožňují využití konkrétní mapy objektu, když je vyžadována díky API klíčům. Nedílnou součástí jsou smart prvky mapy, které usnadní plánování trasy pro ZP, například navigace přímo ke stolu daného zaměstnance odpadá nutnost zjišťování jeho pozice, když již v mapě bude zaznamenána. To stejné platí i u vyhledání dané kanceláře či místnosti, kam se daná osoba musí dostat. Použití těchto map výrazně zjednoduší následnou nutnost využití vyššího počtu senzorů v budově, a tím se i zmírní ekonomická zátěž při tvorbě tohoto systému [32].

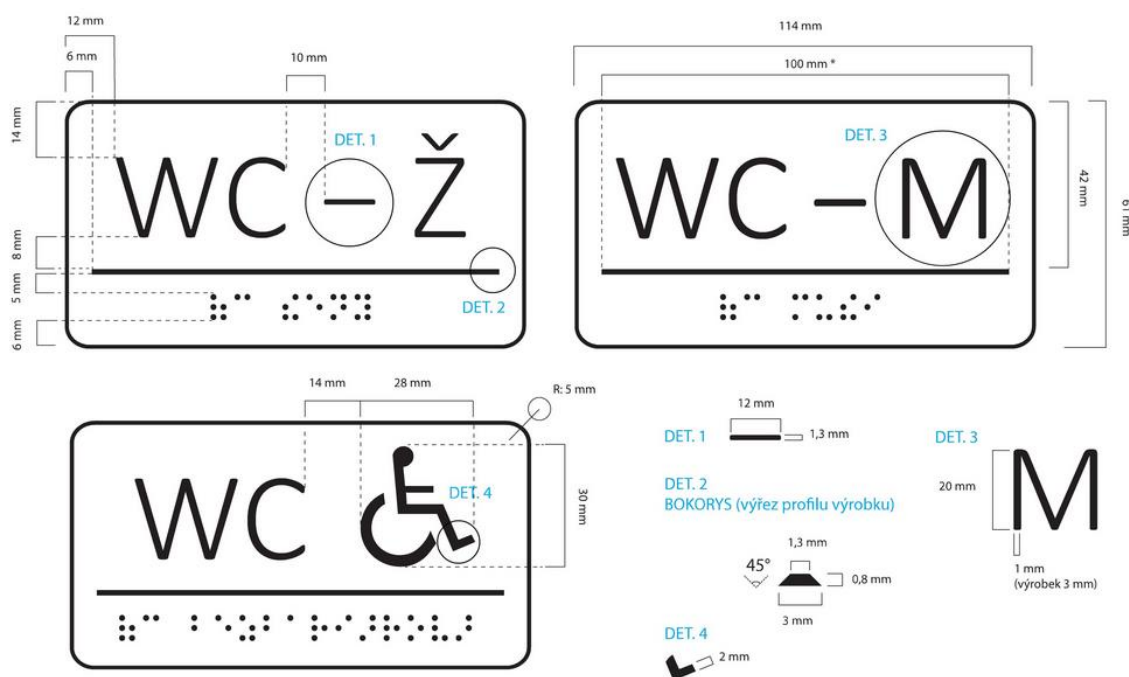
4.2 Pasivní prvky navigace

Mezi pasivní prvky navigace pro zrakově postižené patří všechny prvky instalované uvnitř budovy, které usnadní pohyb a orientaci postižených. Tyto prvky by měly zabezpečit zrakově postiženému dostat se do cíle bez použití jiných zařízení. Tato situace nastává z několika důvodů, a to například, když dotyčná osoba nedisponuje potřebným vybavením nebo vybavení není ve funkčním stavu. Právě pro tyto případy je nutné objekt vybavit příslušnými prostředky.

4.2.1 Popisné prvky

Značení pro nevidomé je dle vyhlášky 398/2009 Sb. nutností každé veřejné budovy, proto bude objekt vybaven popisnými štítky a mapou objektu v Braillovém písmu. Tyto štítky budou označovat významné body v budově, jako je například toaleta, výtah a popisky jednotlivých místností.

Obrázek 12: Značení pro nevidomé



Zdroj: Sjednocená organizace nevidomých a slabozrakých ČR

Štítek musí odpovídat daným parametrům. Obecně je štítek rozdělen do dvou sekcí. Horní sekce obsahuje reliéfní (haptické) písmo doplněno o piktogram. Spodní část je tvořena stejným obsahem, který je převeden do písma Braillova. K vytvoření haptického písma, které bude snadno čitelné, se využívá písmo bezpatkové tvořené jednoduchými liniemi. Jsou využita pouze velká písmena abecedy. Po lepší orientaci je doporučena výška písma 20 mm, šířka čar 1,3 až 3 mm a sklon 45°. Pro Braillové písmo je použito standardní normové písmo dle standardu pro ČR Marburg Medium. Oproti haptickému písmu jsou zde využita pouze malá písmena (bez předznaku pro označení velkých písmen) a jejich počet je co možná nejmenší z důvodů zrychlení čitelnosti dané značky. Text je oddělován pouze jednoduchou mezerou (nejsou zde využita lomítka, pomlčky a podtržítka). Jednotlivé body písma mají stejnou barvu jako text haptický. Haptický text je od Braillového oddělen vodorovnou čarou o stejné tloušťce jako je

šířka textu. Braillský text by měl být situován do vertikálního i horizontálního středu spodní části značky. Mezi textem a hranou štítku je mezera 6 mm, která pomáhá pro správné rozeznání znaků. Obvod štítku by měl mít zkosené hrany, aby nedošlo k poranění ruky. Správné umístění štítku je 200 mm nad klikou dveří [33].

4.2.2 Interiérové vodící linie

Budova by měla být vybavena vnitřní vodící linií. Vodící linie bude umístěna v dlouhých chodbách pro zjednodušení pohybu. Z dostupných zdrojů jsou na trhu pouze dva typy vodících linií, a to typ s drážkami, anebo s protiskluzovou vrstvou. Tyto vodící linie jsou standardizované na rozměr 280×35 mm a 280×30 mm. Jejich provedení musí splňovat normu ISO 23599/2012. V tomto případě budou použity hliníkové formy (AL-11) s protiskluzovou vrstvou. Protiskluzové vodící linie je možné získat ve třech variantách, a to: s kolíky, pro instalaci do předem připravených otvorů v zemi, dále pak bez kolíků, pro montáž za pomoci lepidla a nakonec samolepící, opatřené ATF páskou. V tomto případě bude vhodné využít variantu se samolepící páskou pro snazší manipulaci a flexibilitu [34].

4.2.3 Hrany schodů

Hrany schodů uvnitř budovy budou osazeny protiskluzovými hliníkovými hranami pro zvýšení bezpečnosti jak nevidomým, tak normálně vidícím osobám. Pro první a poslední schod bude použita místo barvy černé barva žlutá [35].

4.3 Technické prostředky navigace

Pro tento případ navigace bude zapotřebí využít několik typů technických prostředků/senzorů. Základní navigace se bude skládat z modifikované slepecké hole, která v sobě bude mít zabudovaný systém pro detekci hrany schodu a komplexní mikrokontroler pro budoucí rozšíření o další senzory a funkce a z prostředků pro určení pozice uživatele při vyhledání konkrétní místnosti a identifikaci dveří.

4.3.1 Označení dveří

Pro identifikaci dveří budou sloužit tzv. „RFID tagy“. Pro aplikaci uvnitř budovy bude využito RFID nálepek, které jsou moderním a ekonomicky přijatelným řešením. Mobilní telefon bude

spojen s aplikací s nahranou vnitřní mapou, která v sobě díky smart funkcím bude mít uložená RFID čísla pro identifikaci místností.

4.3.1.1 Technologie RFID

Technologie RFID neboli radiofrekvenční identifikace využívá elektromagnetické pole k identifikaci a sledování tagů umístěných na objektech. Systém RFID se skládá z jednoduchého transpondéru a radiového vysílače a přijímače. V případě, že se dostane tag do blízkosti elektromagnetického dotazovacího pulzu emitovaného RFID čtečkou, tag začne vysílat do zařízení digitální data, obvykle se jedná o identifikační číslo. V tomto případě se bude jednat o identifikační číslo místnosti. RFID tag je k dostání ve dvou podobách a to:

Pasivní – pasivní tagy jsou napájeny z dotazovací elektromagnetických vln, které emituje čtečka.

Aktivní – aktivní tagy jsou napájeny externí baterií, a proto je možné číst je na větší vzdálenost až do několika stovek metrů [36].

RFID tag se skládá ze tří částí: mikročip (integrováný obvod, který má za úkol ukládat a zpracovávat informace, dále pak provádět modulaci a demodulaci radiových signálů), anténa pro přenos a příjem signálu a substrát. Informace o tagu jsou uloženy v energeticky nezávislé paměti. RFID tagy disponují jak pevnou, tak programovatelnou logiku pro zpracování přenosu a data senzorů [36].

RFID tagy mohou být pasivní, aktivní a pasivní podpořené baterií. Aktivní tag má zabudovanou baterii a periodicky vysílá ID signál. Pasivní tag podpořený baterií obsahuje malou baterii na desce, která se aktivuje při přiblížení RFID čtečky. Pasivní tag je levnější a menší, protože nemá žádnou baterii, namísto toho tag využívá energii radiového signálu emitovaného čtečkou. Aby však mohl fungovat je zapotřebí, aby byl ozářen zhruba tisíckrát větším výkonem než aktivní tag. Toto výrazně ovlivňuje jeho následné umístění [37].

RFID tagy mohou být only-read (pouze pro čtení), obsahují pouze výrobní číslo, které není možné změnit a je použito jako identifikační číslo v databázi, nebo mohou být read/write (čtení a zápis), kde lze do tagu uložit data o objektu, která jsou vytvořena uživatelem systému. Tagy

s programovatelným polem můžou být write-once (jednou zapiš), read-multiple (čti víckrát). Do „prázdných“ tagů lze zapsat data uživatele elektronickým kódem [38].

Tag přijme zprávu od čtečky a odpoví svým identifikačním číslem a dalšími informacemi. Většinou se jedná o sériové číslo štítku, informace o produktu nebo šarže. Jelikož mají RFID tagy unikátní čísla může systém zpracovávat více tagů v dosahu čtečky a číst je současně. RFID systémy mohou být rozděleny do třech typů dle použité čtečky a tagu:

Pasivní Čtečka Aktivní Tag (PRAT) – systém, který využívá pasivní čtečku, která pouze přijímá radiový signál vysílaný aktivním tagem. Dosah systémů PRAT může být v rozmezí 0-600 m, to poskytuje systému flexibilitu aplikace. “

Aktivní Čtečka Pasivní Tag (ARPT) – systém má aktivní čtečku, která transmituje signály a dostává identifikační odpověď od tagu.

Aktivní Čtečka Aktivní Tag (ARAT) – systém využívá aktivní tag, který se aktivuje signálem aktivní čtečky. Tento systém může využívat pasivní tag s přídatnou baterií pro zesílení signálu při aktivaci signálem čtečky [39].

Tabulka 4: Jednotlivá pásma RFID

Pásmo	Regulace	Dosah	Rychlost přenosu	Poznámka
LF: 120-150 kHz	Neregulované	10 cm	Nízká	Detekce zvířat, Sběr továrních dat
HF: 13.56 MHz	Pásmo ISM	10 cm – 1 m	Nízká až střední	Smart karty (ISO/IEC 15693), Paměťové karty, Mikroprocesorové karty
UHF: 433 MHz	Zařízení na krátkou vzdálenost	1-100 m	Střední	Ochranné aplikace s aktivním tagem

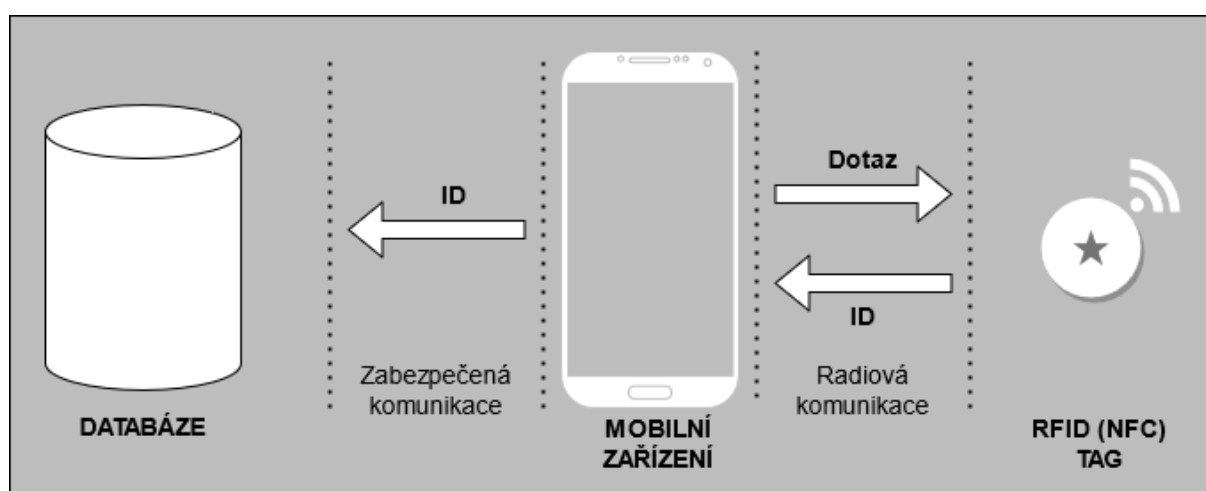
UHF: 865-868 MHz (Evropa) 902-928 MHz (Severní Amerika)	Pásmo ISM	1-12 m	Střední až vysoká	EAN
Mikrovlna: 2450-5800 MHz	Pásmo ISM	1-2 m	Vysoká	802.11 WLAN, Bluetooth standard
Mikrovlna: 3.1-10 GHz	UWB	Do 200 m	Vysoká	Vyžaduje poloaktivní či aktivní tag

Zdroj: Vlastní zpracování dle RFID For Energy and Utility Industries

4.3.1.2 Technologie NFC

Technologie NFC je set bezdrátových technologií krátkého dosahu, které potřebují pro komunikaci rozstup zařízení nepřesahující 10 cm. Technologie NFC pracuje v pásmu 13.56 MHz v ISO/IEC 18000-3 v rychlostech od 106 do 424 kbit/s. NFC tag obsahuje data typu read-only (pouze pro čtení). Tyto tagy disponují pamětí až 8192 bytů [40].

Obrázek 13: NFC přenos dat



Zdroj: Vlastní zpracování dle Reassignment Scheme of an RFID Tag's Key for Owner Transfer

Z povahy navigačního systému bude uplatněna technologie NFC, aby nedocházelo k rušení při větším počtu dveří u sebe a odpadá nutnost speciální čtečky RFID tagů, protože většina

dnešních dostupným mobilních zařízení disponuje již zabudovanou čtečkou NFC tagů. Z ekonomického hlediska jsou NFC tagy velmi dostupné při ceně jedno kusu okolo padesáti korun. Tyto NFC nálepky lze využít i k jiným aplikacím než pouze v systému navigace pro ZP.

4.3.2 Detekce hrany schodů

Detekce hrany schodů bude zajištěna tzv. Hallovými sondami. Jedná se o zařízení detekující magnetické pole, které je schopné odeslat tyto informace v podobě analogového nebo digitálního signálu.

4.3.2.1 Hallův jev

Hallův jev nastává při umístění destičky vyhotovené z kovu nebo polovodiče, kterou prochází elektrický proud v podélném směru, do magnetického pole tak, aby vektor magnetické indukce působil na destičku v kolmém směru. Pomocí citlivého voltmetru je možné naměřit nepatrné napětí mezi protilehlými bočními stěnami. Toto napětí, které v roce 1879 objevil E. H. Hall, nazýváme Hallovo napětí a značí se U_H . Důvodem jeho vzniku je magnetická síla F_m (její velikost lze určit Flemingovým pravidlem levé ruky), která působí na volné náboje v destičce a způsobuje jejich pohyb k jedné straně. U této strany se vytvoří nadbytek nosičů a u druhé strany jejich nedostatek. Toto nerovnoměrné rozmístění nábojů zapříčiní vznik elektrického pole o intenzitě E . V rovnovážném stavu jsou nosiče náboje vystaveny síle F_e .

$$F_e = -e \times E = |Q| \times E$$

Kde F_e síla působící na nosiče náboje

e elementární náboj

E intenzita elektrického pole

Q elektrický náboj

Tato síla je přímo úměrná magnetické síle F_m , která má stejnou velikost, ale opačný směr.

$$F_m = B \times |Q|$$

Kde F_m magnetická síla

B magnetická indukce

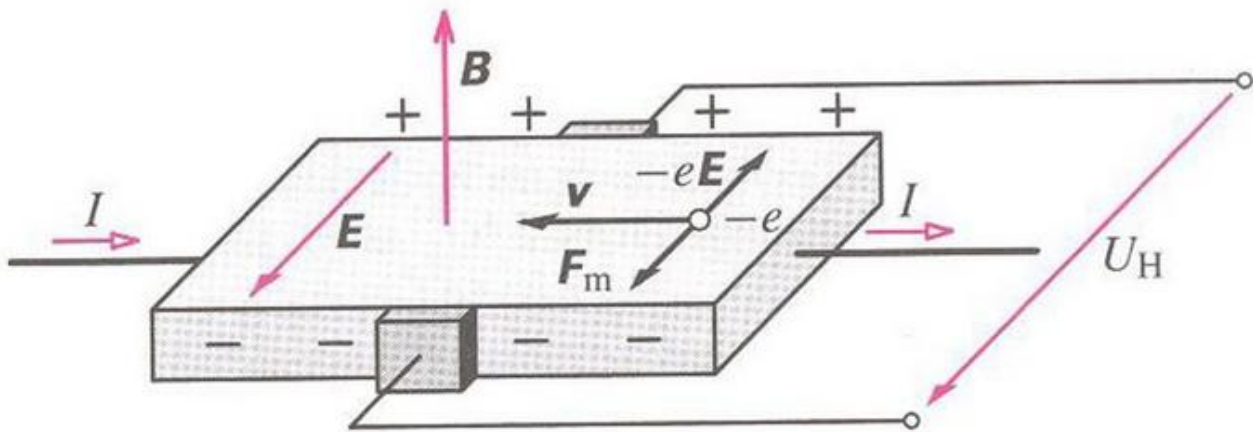
Q elektrický náboj

Této síle odpovídá tzv. Hallovo napětí U_H [41]

$$U_H = k \times \frac{B \times I}{d}$$

Kde U_H Hallovo napětí
 B magnetická indukce
 I elektrický proud
 d tloušťka destičky

Obrázek 14: Hallův jev



Zdroj: Základy elektrotechniky, 2013

4.3.2.2 Hallové sondy

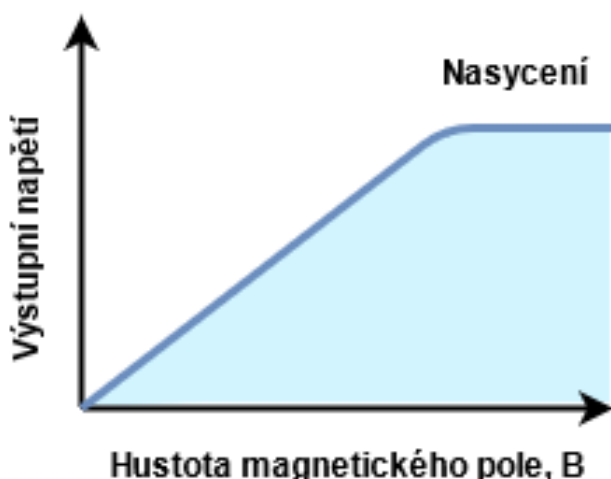
Hallové sondy (snímače) jsou zařízení, která se aktivují působením vnějšího magnetického pole. Magnetické pole má dvě důležité charakteristiky, a to hustotu magnetického toku (B) a polaritu (jižní a severní pól). Výstupním signálem Hallové sondy je funkce závislá na velikosti magnetické indukce kolem zařízení. Když hodnota magnetické indukce překročí určitou hranici (přenastavenou), sonda jí detekuje a generuje výstupní napětí zvané Hallovo napětí viz obrázek 14.

Hallové sondy se v zásadě skládají z tenkého kusu polovodičového materiálu ve tvaru obdélníku. Jedná se o polovodič typu P, jako je například arsenid galia (GaAs), arsenid india (InAs) a antimonid india (InSb), kterým nepřetržitě prochází elektrická energie.

Výstupní napětí tzv. Hallovo napětí (U_h) základního Hallova prvku je přímo úměrné intenzitě magnetického pole procházejícího materiálem (výstup $\propto H$). Toto výstupní Hallovo napětí může dosahovat pouze nepatrných hodnot v rámci mikrovoltů, i když je zařízení vystaveno silnému magnetickému poli, tím pádem většina komerčně dostupných zařízení vybavených Hallovým senzorem je opatřena vestavěnými stejnosměrnými zesilovači, logickými spínacími obvody a regulátory napětí pro zlepšení citlivosti a hystereze výstupu senzoru napětí. Toto má za následek rozšíření rozsahu vstupního napětí zdroje.

Hallové sondy jsou k dispozici v provedení s analogovým nebo digitálním výstupem. Výstupní signál pro analogové (lineární) sondy je získán přímo z výstupu operačního zesilovače a výstupní napětí je přímo úměrné magnetickému poli procházejícího Hallovou sondou a je dáno již zmiňovaným vztahem pro výpočet U_h .

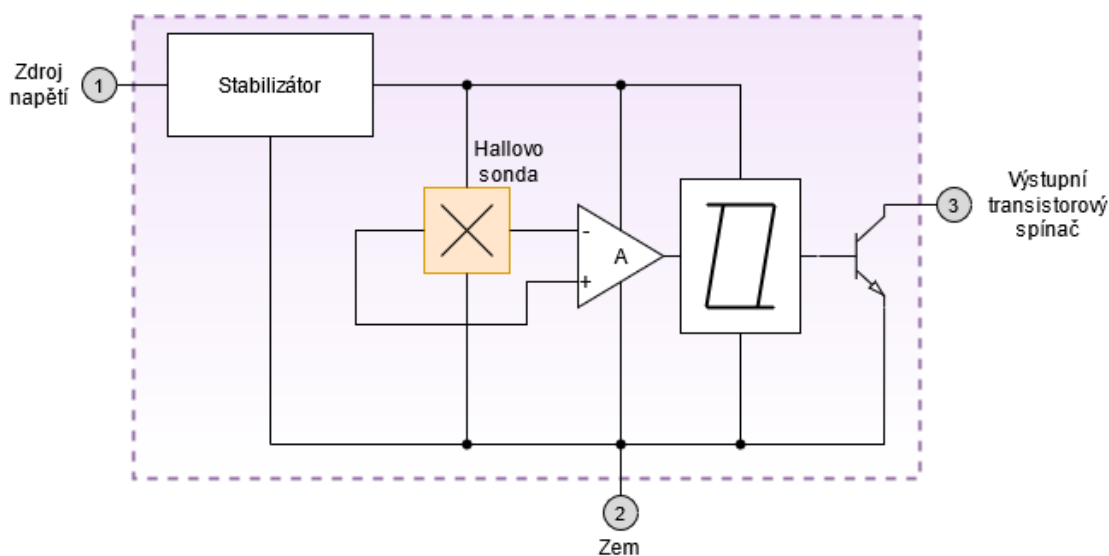
Obrázek 15: Nasycení Hallové sondy



Zdroj: Vlastní zpracování dle Electronics-tutorials

Analogové snímače poskytují spojitý napěťový výstup, který roste a klesá dle intenzity magnetického pole. U těchto snímačů roste výstupní napětí s rostoucí magnetickou indukci až do bodu nasycení, který je dán napájecím zdrojem. Jakékoliv další zvýšení magnetického pole nemá vliv na výstupní napětí.

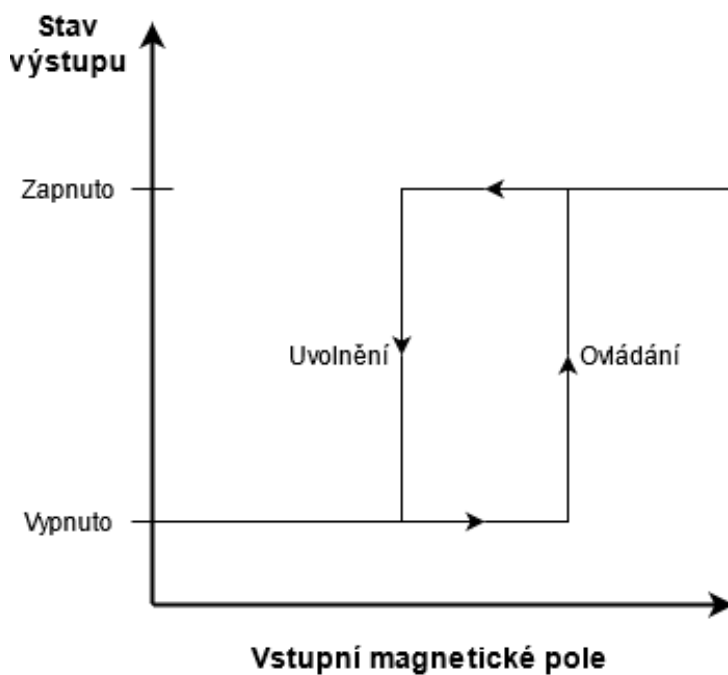
Obrázek 16: Schéma Hallovy sondy



Zdroj: Vlastní zpracování dle Electronics-tutorials

Hallovy sondy s digitálním výstupem jsou oproti tomu vybaveny Schmittovým klopným obvodem (s vestavěnou hystezí) spojeným s operačním zesilovačem. Když magnetický tok přesáhne určitou přednastavenou hodnotu, výstup ze zařízení skokově sepne ze stavu „VYPNUTO“ do stavu „ZAPNUTO“. Hystereze na Schmittově klopném obvodu eliminuje veškeré oscilace výstupního signálu při pohybu senzoru v magnetickém poli.

Obrázek 17: Převodní funkce Hallovy sondy



Zdroj: Vlastní zpracování dle Honeywell: Hall Effect Sensing and Application

Existují dva základní typy digitálních Hallových snímačů, a to bipolární a unipolární (v některých případech se lze setkat i se snímačem omnipolárním). Bipolární Hallové snímače vyžadují pro ovládání jak kladný (jižní) tak záporný (severní) pól. V přítomnosti jižního pólu magnetu je Hallova sonda aktivní. Při oddálení z magnetického pole sonda setrvá v sepnutém stavu. Pro vypnutí je nutné přiblížit k sondě severní pól magnetu. Unipolární Hallův snímač vyžaduje pouze jižní pól pro jeho spínání při pohybu ven i dovnitř magnetického pole.

Většina Hallových snímačů nedokáže přímo přepínat velké elektrické zátěže, protože jejich výstupní spínaný proud se pohybuje v rozmezí přibližně 10–20 mA. U větších proudových zátěží je nutné přidat na výstup tranzistor typu NPN s otevřeným kolektorem, kam je pak připojenavlastní zátěž.

4.3.2.3 Aplikace Hallové sondy v navigaci pro ZP

Hlavní výhodou využití Hallových sond v navigaci je především jejich cena a jednoduchost zapojení. Při vhodném umístění Hallové sondy přímo na upravenou slepeckou hůl a využití vhodných prostředků pro jejich aktivaci u blížící se hrany schodu lze zajistit včasnou identifikaci blížícího se schodu pro zrakově postižené. Při průzkumu trhu lze jako aktivační magnet využít magnetické fólie, které lze bez problémů umístit na schod v potřebné šířce, například k pokrytí posledních 10 cm schodu. Když ZP při průchodu budovou umístí slepeckou hůl do prostoru nad magnetickou podložku (fólii) Hallova sonda identifikuje magnetické pole a vyšle signál do modulu, který následně informaci zpracuje a vyhodnotí. Pro tuto aplikaci je vhodné využít unipolární Hallovu sondu pro jednoduchost provedení s magnetickou podložkou, kdy odpadá nutnost řešit její magnetické póly [42] [43] [44].

4.3.3 Upravená slepecká hůl

Pro účely vnitřní navigace je nutné vyvinout speciálně upravenou slepeckou hůl. Tato hůl by měla obsahovat senzor pro detekci magnetického pole (Hallovu sondu), modul pro zpracování signálu ze senzoru (Arduino), zařízení pro komunikaci s uživatelem a zdroj napětí. Všechny tyto komponenty by měly být v rozumném měřítku, aby byla zachována nízká hmotnost a rozměry slepecké hole. Slepecká hůl by měla být vybavena dobíjecím modulem pro zvýšení „Kvality života“.

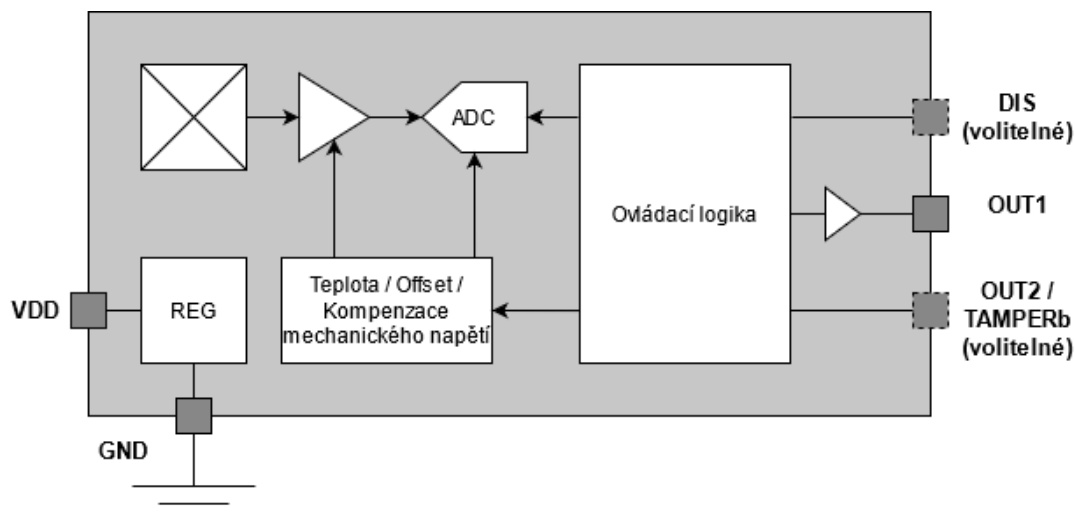
4.3.3.1 Modul pro detekci magnetického pole

Modulem pro detekci magnetického pole bude již zmiňovaná Hallova sonda, která bude umístěna na konci slepečné hole. Pro účely navigace bude využita omnipolární/unipolární verze, která reaguje na obě polarity magnetického pole.

SI7201-B-09-IB

Rodina SI7201/2/3/4/5/6 Hallových sond a západek od firmy Silicon Labs kombinuje stabilizovaný Hallův prvek pomocí „chopperu“ s nízkošumovým analogovým zesilovačem, 13 bitovým A-D převodníkem a flexibilní komparačním obvodem. Senzor využívá konstrukční techniky CMOS a zahrnuje zpracování digitálního signálu, které poskytuje přesnou kompenzaci teploty a posunu.

Obrázek 18: Vnitřní schéma SI7201-B-09-IB



Zdroj: Vlastní zpracování dle Silicon Labs

Ve srovnání se stávající Hallovými senzory tento disponuje velmi vysokou citlivostí, což zlepšuje jeho aplikaci na místech, kde je větší vzduchová mezera, nebo se zde nachází slabší (nebo menší) magnety. U těchto senzorů, které budou napájeny z baterie je velkou výhodou jejich malá spotřeba a vysoká životnost.

Zařízení jsou dodávána v 3-kolíkových pouzdrech SOT23 a TO-92 s napájením, uzemněním a jedním výstupním pinem, který poskytuje signál HIGH nebo LOW s rostoucím magnetickým polem s návratem do nulové hodnoty při přiblížení sondy do velmi silného magnetického pole.

Vhodný pro aplikaci ve spotřebním, automobilovém a bezpečnostním průmyslu. Dále pro BLDC ovládání motoru a obecné mechanické snímání pozice [45].

Základní parametry

- Vysoká senzitivita Hallovy sondy
 - Maximální operační hodnota B_{OP} / magnetické indukce 1,1 mT.
 - Omnipolární nebo unipolární aplikace
 - Integrovaný převodník digitálního signálu s kompenzací pro teplotu, offset a drift.
- Nízká 400 nA spotřeba při frekvenci vzorkování 5 vzorků za sekundu.
- Volitelná / Programovatelná senzitivita, hystereze, výstupní polarita a vzorkovací frekvence
- Široká škála napájecího napětí
 - 1.71 až 5.5 V
 - 3.3 až 26.5 V
- Volitelné nastavení výstupu
 - Výstup typu Open-drain
 - Digitální HIGH/LOW výstup

Technické parametry

Tabulka 5: Technické parametry Hallovy sondy

Parametr	Symbol	Testovací podmínky	Min	Typ	Max	Jednotka
Zdroj napětí	V _{DD}	Si7201/2/3/4	1.71		5.5	V
Zdroj napětí	V _{DD}	Si7205/6	3.3		26.5	V
Teplota	T _A	I grade	-40		+125	°C

Parametr	Symbol	Testovací podmínky	Min	Typ	Max	Jednotka
Vstupní napětí HIGH	V _{IH}	DIS Pin	0.7 x V _{DD}	-	-	V
Vstupní napětí LOW	V _{IL}	DIS Pin	-	-	0.3 x V _{DD}	V
Rozsah vstupního napětí	V _{IN}	DIS Pin	0		V _{DD}	V
Vstupní odchylka	I _{LL}	DIS Pin			1	μA
Výstupní napětí LOW	V _{OL}	TAMPERb pin I _{OL} = 3mA; V _{DD} > 2V			0.4	V
		TAMPERb pin I _{OL} = 2mA; V _{DD} > 1.71V			0.2	V
		TAMPERb pin I _{OL} = 2mA; V _{DD} > 0.6V			0.6	V
Odběr proudu <i>Průměrný výkon závisí na vzorkovací frekvenci a procentu času stráveného vzorkováním v porovnání s režimem spánku a klidovém režimu</i>	I _{DD}	Průměrný časovač vypnutí při V _{DD} =3.3 V a doba spánku 200ms		0.4		μA
		Režim spánku V _{DD} =3.3 V, T=25 °C		50		
		V _{DD} =3.3 V, T=70 °C			1000	nA
		V _{DD} =5.5 V, T=125 °C			5000	
		Při konverzi V _{DD} =1.8 V V _{DD} =3.3 V V _{DD} =5.5 V		3.5 5 6.8	5.5 6 8.0	mA

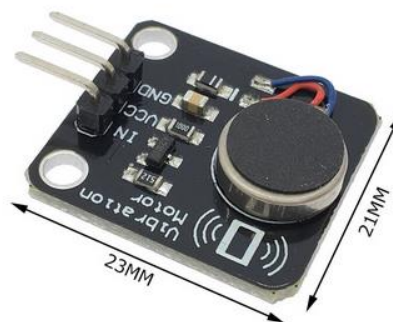
		Při konverzi částí vysoké napětí $V_{DD}=3.3-26.5$ V		6.5	8.5	mA
		Klidový režim nízké napětí $V_{DD}=1.71-5.5$ V		0.6	1	mA
		Klidový režim vysoké napětí $V_{DD}=3.3-26.5$ V		0.9	1.2	mA
Čas konverze	T_{conv}	První konverze pro probuzení		11		μs
		Následující konverze		8.8		μs
Frekvence vzorkování	F_{sample}	8-113 KHz				
Čas probuzení	T_{wake}	Čas z $V_{DD}>1.71$ V do prvního měření			1	ms

Zdroj: Vlastní zpracování dle Silicon Labs

4.3.3.2 Vibrační modul

Jako vibrační modul bude použit „Arduino Vibration Motor Modul“. Jedná se o malý vestavný modul motoru. Po přívodu 5 V lze modul ovládat digitálním signálem hodnotami HIGH nebo LOW a je možné měnit intenzitu vibrování. Modul je založený na principu vibračního motoru, který je obvyklý u mobilních telefonů. Intenzita vibrování je ovladatelná prostřednictvím PWM. Jedná se o vhodný produkt pro přenosná zařízení a vibrace nejsou tak silné, aby byly slyšitelné, a tím se celé zařízení stává velmi diskrétním. Jedinou nevýhodou je, že není většinou v České republice dostupné a je nutné zařízení objednat z ciziny [46].

Obrázek 19: Vibrační modul



Zdroj: A vibration motor module connected to an arduino

Technické parametry

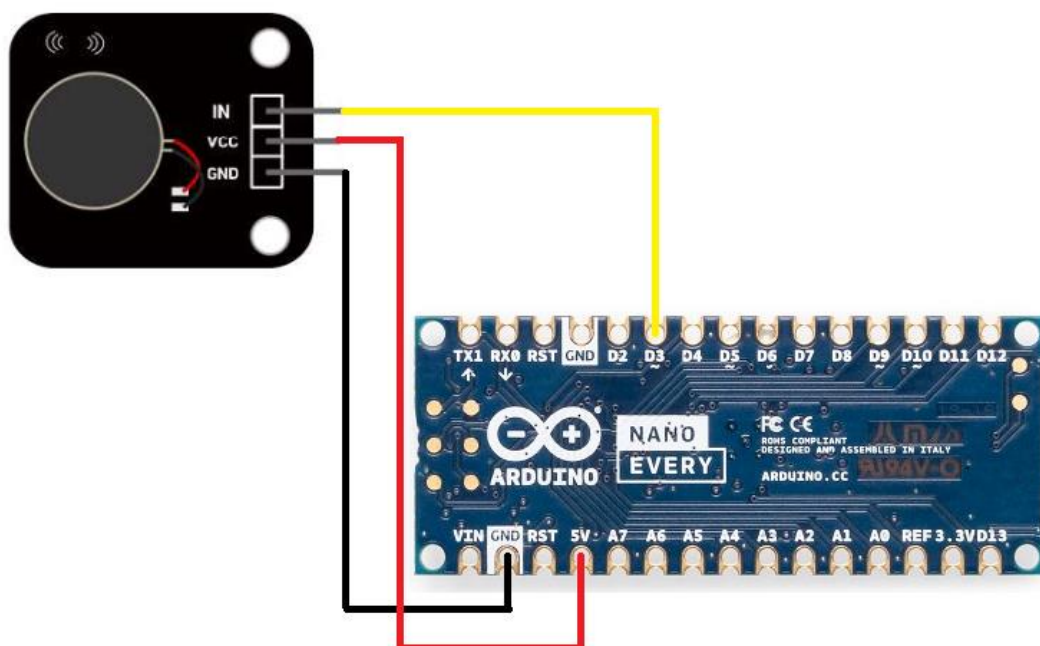
Tabulka 6: Technické parametry vibračního modulu

Breadboard Friendly	ANO
Napětí (rozpětí)	3-6 V
Styl motoru	Vibrační
Jmenovité napětí	5.0 VDC
Operační napětí	3-6 V
Jmenovitá rychlost	9000 rpm (minimální)
Jmenovitý proud	60 mA
Startovací proud	90 mA
Izolační odpor	10 MΩ
Startovací napětí	3.7 VDC
Dimenze	23x21x5 mm
Upevnění	2x otvor 3 mm

Zdroj: Vlastní zpracování dle Silicon Labs

Schéma připojení modulu k Arduino Nano

Obrázek 20: Schéma zapojení vibračního modulu



Zdroj: Vlastní zpracování dle obr. 19 a 21

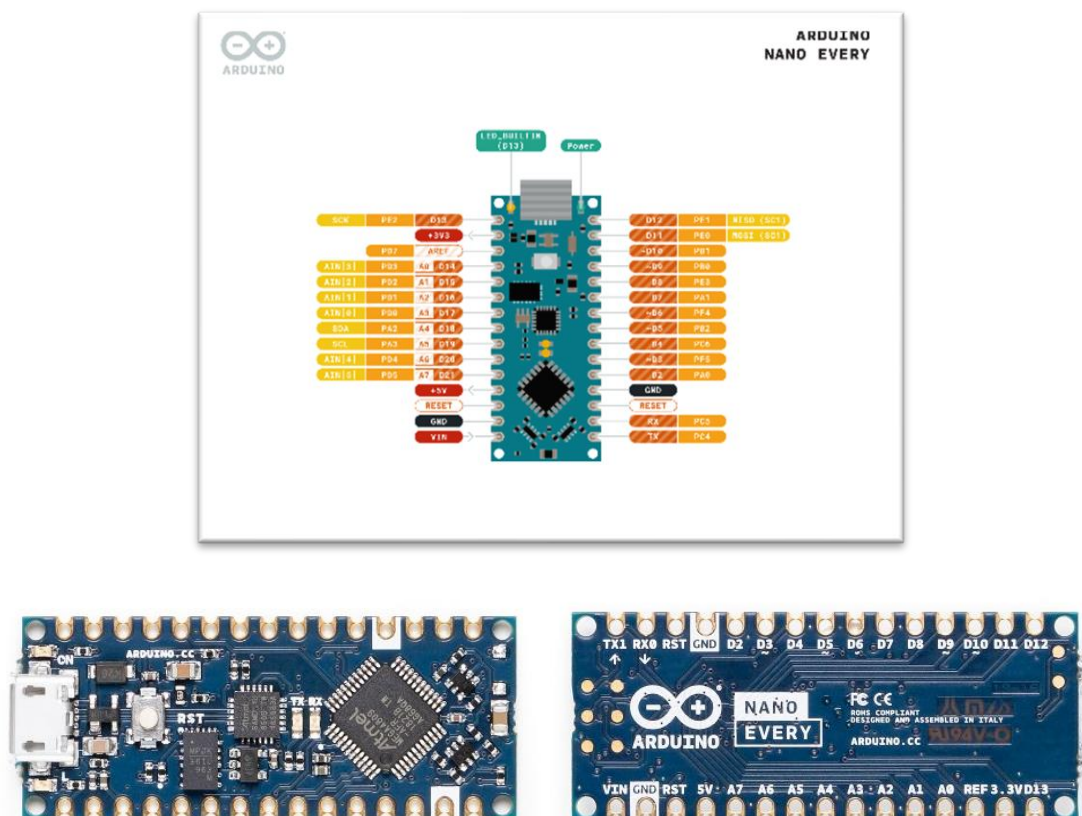
4.3.3.3 Výpočetní modul

Jako výpočetní modul bude využit produkt společnosti Arduino. Jedná se o mikrokontroler o velmi malé velikosti a jeho hlavní výhodou je jednoduchost programování řídicího programu v prostředí Arduino.

Arduino Nano Every

Modul Arduino Nano Every je 5V mikrokontroler řady nano. Jedná se o velikostně nejmenší model Arduina. Toto zařízení je vhodné zejména díky své velikosti, která činí 45x18 mm. Model Arduino Nano Every je nástupcem známého Arduino Nano, ale oproti starší verzi disponuje výkonnějším procesorem ATmega4809, který umožňuje vytvoření rozsáhlejších a komplexnějších programů.

Obrázek 21: Pohled na Arduino Nano Every



Zdroj: Arduino.cc

Na desce se od výrobce nachází konektor mikro USB pro připojení k PC a následné nahrání řídicího programu. Od výrobce lze získat tento kontroler ve dvou provedeních, a to s hlavičkami, či bez nich. To umožňuje jeho nainstalování do mnoha různých přístrojů a

vynálezů, včetně přenosných zařízení, tím pádem se toto zařízení hodí pro vytvoření upravené slepecké hole s možností dalšího rozšíření o další moduly [47].

Technické parametry

Tabulka 7: Technické parametry Arduino Nano Every

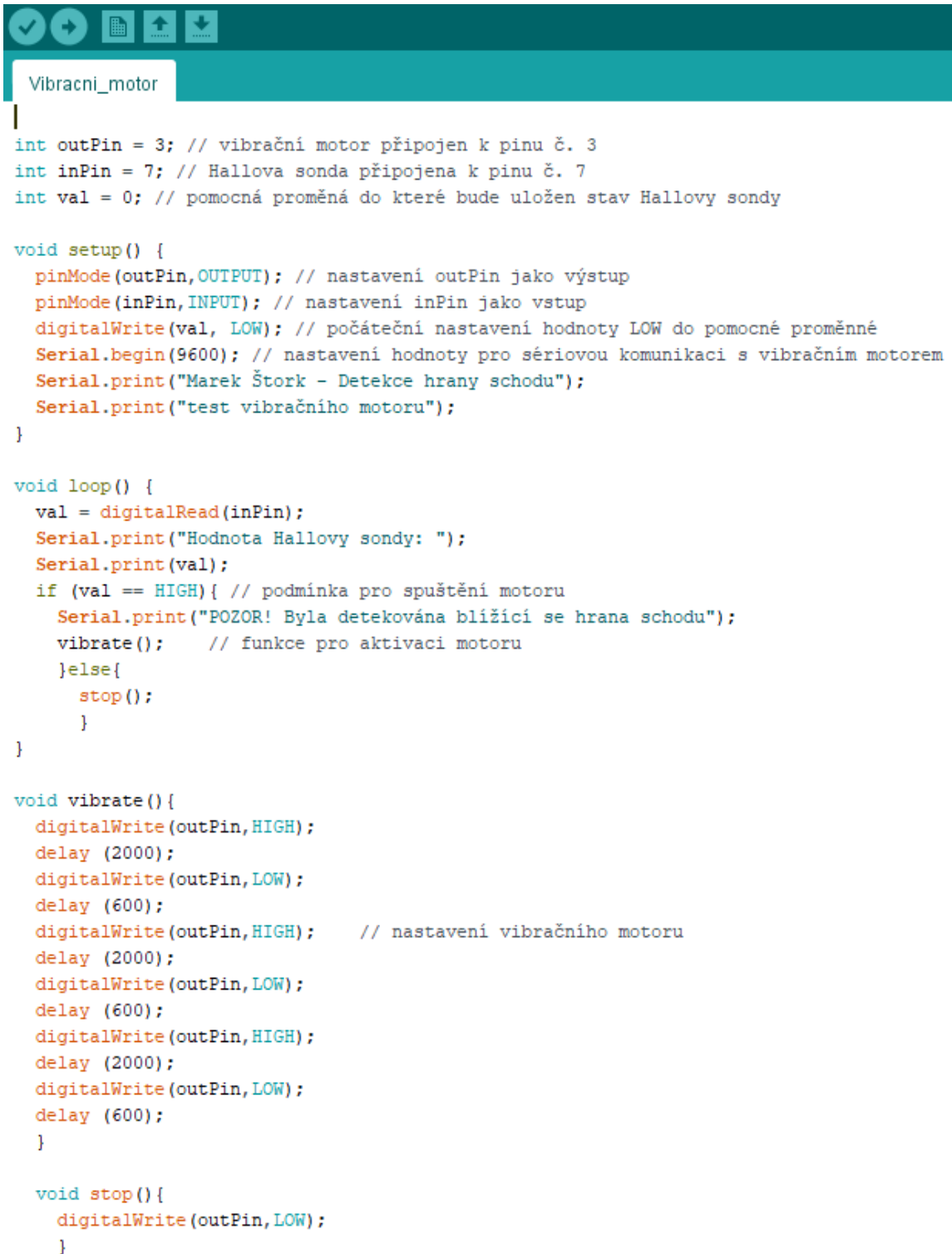
Mikrokontroler	ATMega4809
Operační napětí	5 V
DC proud na I/O Pin	20 mA
DC proud na 3.3 V Pin	50 mA
Operační rychlost	20 MHz
CPU Flash paměť	48 KB (ATMega4809)
SRAM	6 KB (ATMega4809)
EEPROM	256 bytů (ATMega4809)
PWM Piny	5 (D3, D5, D6, D9, D10)
UART	1
SPI	1
I2C	1
Analogové vstupní Piny	8 (ADC 10 bit)
Analogové výstupní Piny	Pouze přes PWM (bez DAC)
Vnější přerušení	Všechny digitální Piny
LED_BUILTIN	13
USB	ATSAMD11D14A
Délka	45 mm
Šířka	18 mm

Zdroj: Vlastní zpracování dle Silicon Labs

Program pro ovládání vibrací v prostředí Arduino

Program pro ovládání vibračního motoru byl vytvořen v oficiálním IDE společnosti Arduino. Jedná se testovací program, který zatím nebyl testován na reálném zařízení a byl pouze zkompilován pro kontrolu chyb syntaxe. V prvním kroku program nastaví a přiřadí jednotlivé piny modulu, které budou následně využity (digitální piny 3 a 7). Pro testování byl pin 7 pojmenován „inPin“ a 3 „outPin“. V dalším kroku proběhlo přiřazení vstupu (inPin, INPUT) a výstupu (outPin, OUTPUT) a nastavení počáteční hodnoty do pomocné proměnné „val“ (LOW). Na vstupní pin bude umístěna Hallova sonda, která v počátku spuštění modulu není aktivní, a proto je nutné mít přednastavenou pomocnou proměnnou „val“ na LOW, aby nedošlo ke spuštění vibračního motoru. Následně je samotný program tvořen podmínkou, která kontroluje, zda hodnota „val“, do které je uložena digitální hodnota Hallovy sondy, je HIGH. Tuto hodnotu pošle Hallova sonda při detekci magnetického pole podložky umístěné na konci schodu. Při zjištění této shody je spuštěna funkce „vibrate“, která na digitální výstup začne odesílat hodnoty HIGH a LOW v určitých intervalech, a to má za následek specifické vibrování motoru. V testovacím programu je zahrnuta i varovná hláška při detekci hrany schodu, která by dále mohla být využita pro hlasovou asistenci zrakově postiženého. Po odstranění Hallovy sondy z magnetického pole je sondou na vstupní pin odeslána hodnota LOW, ta při vyhodnocení podmínky spustí funkci „stop“. Funkce stop nastaví na digitální výstup hodnotu LOW, a tím uvede vibrační motor do klidu.

Obrázek 22: Program pro Arduino



```
int outPin = 3; // vibrační motor připojen k pinu č. 3
int inPin = 7; // Hallova sonda připojena k pinu č. 7
int val = 0; // pomocná proměnná do které bude uložen stav Hallovky sondy

void setup() {
  pinMode(outPin,OUTPUT); // nastavení outPin jako výstup
  pinMode(inPin,INPUT); // nastavení inPin jako vstup
  digitalWrite(val, LOW); // počáteční nastavení hodnoty LOW do pomocné proměnné
  Serial.begin(9600); // nastavení hodnoty pro sériovou komunikaci s vibračním motorem
  Serial.print("Marek Štork - Detekce hrany schodu");
  Serial.print("test vibračního motoru");
}

void loop() {
  val = digitalRead(inPin);
  Serial.print("Hodnota Hallovky sondy: ");
  Serial.print(val);
  if (val == HIGH){ // podmínka pro spuštění motoru
    Serial.print("POZOR! Byla detekována bližící se hrana schodu");
    vibrate(); // funkce pro aktivaci motoru
  }else{
    stop();
  }
}

void vibrate(){
  digitalWrite(outPin,HIGH);
  delay (2000);
  digitalWrite(outPin,LOW);
  delay (600);
  digitalWrite(outPin,HIGH); // nastavení vibračního motoru
  delay (2000);
  digitalWrite(outPin,LOW);
  delay (600);
  digitalWrite(outPin,HIGH);
  delay (2000);
  digitalWrite(outPin,LOW);
  delay (600);
}

void stop(){
  digitalWrite(outPin,LOW);
}
```

Zdroj: Vlastní zpracování programu

5 Výsledky

Tato kapitola přináší ucelený pohled na danou tematiku a poznatky, které během zkoumání dané problematiky vyšly najevo. Tuto část práce lze rozdělit do několika závěrů.

V první části teoretické práce, která byla věnována analýze a charakteristice mapových dat pro nevidomé. V této kapitole je nastíněna problematika základních informací o problémech, se kterými se zrakově postižení setkávají každý den a jakým způsobem se dají zmiňované problémy odstranit. Dále jsou zde zahrnuty přístupy pro tvorbu mapového rámce, který přehledně rozděluje jednotlivé části navigace do ucelených kategorií. Tyto kategorie, například kategorie *Objekt*, jsou dále podrobně popsány. Další segment této části je věnován pouze objektů, jejich rozdělení a klasifikaci. Z této části je patrné, že objekty lze klasifikovat do třech základních kategorií, a to: pevné objekty, přemístitelné objekty a dočasné objekty. Tyto kategorie jsou dále podle škály rozděleny do dalších podkategorií a jsou k nim uvedeny příklady. Na konci této části jsou uvedeny jednotlivé aplikace a možná rozšíření mapového rámce.

Druhá část teoretické práce zachycuje jednotlivé dosavadní vnitřní navigační systémy určené zrakově postiženým. Tato část je nadále dělena do třech základních částí. První část zachycuje rozdělení vstupních modulů pro vnitřní navigaci. V této části jsou popsány bezkamerové systémy, kamerové systémy a hybridní systémy. Každý z těchto systémů je rozdělen dle použité technologie pro snímání okolí. U bezkamerových systémů bylo zjištěno, že největší zastoupení zde nachází technologie RFID, Bluetooth Low Energy, Ultra-Wideband, WiFi, GROPING a jejich kombinace. Po zkoumání této problematiky bylo zjištěno, že každá z těchto kategorií má své výhody a na druhou stranu i limitace, proto návrh navigačního systému je velmi pružný, co se týče výběru bezkamerové technologie. U kamerových systému bylo zjištěno používané rozdělení pouze podle typu kamery, a to na jednoduché kamery a kamery s hloubkovým senzorem. Při popisování výpočetního modulu byl brán ohled na časové a ekonomické hledisko. Bylo zjištěno, že při vývoji systému je vhodné využít výpočetní modul typu Arduino nebo ARM. V poslední části týkající se modulu pro zpětnou vazbu bylo zjištěno, že nejúčinnějším způsobem předání zpětné vazby je hmat a zvuk.

První část praktické části práce je věnována tvorbě vnitřní mapy systému. Jako nejvhodnější vývojové prostředí zde byl vybrán software WRLD3D. Jedná se o otevřenou platformu 3D

mapy, která poskytuje uživatelům sdílet své vlastní vnitřní mapy s ostatními. Tento software má v sobě zabudované SDK pro vývojáře a dovoluje uživatelům použít vytvořenou vnitřní mapu pro programování aplikací. V neplacené verzi je uživateli umožněno vytvořit a nahrát mapu. Tato mapa nadále v placené verzi může být obohacena o tzv. smart prvky. Tyto prvky umožní uživateli přidat konkrétní popisky interiéru s možností dalších funkcí. Tyto smart prvky by v systému vnitřní navigace pro nevidomé mohly hrát velmi významnou roli při navigaci na konkrétní místo, či při hledání dané osoby.

Druhá část praktické části věnuje pozornost nutným pasivním prvkům vnitřní navigace pro zrakově postižené. Jedná se zejména o tabulky a popisky jednotlivých dveří, směrovek a map. Je zde brána v potaz směrnice, která určuje přesné umístění a tvar tabulek.

Třetí a poslední část praktické části je věnována technickým prostředkům navigace. Návrh byl zaměřen zejména na identifikaci dveří a detekci hrany schodů. Zejména tyto dvě věci působí postiženým výrazné potíže při navigaci uvnitř budovy. K identifikaci dveří bylo využito technologie RFID konkrétně NFC tagů. Jedná se o nálepky, které lze umístit na dveře a je možné je přečíst obyčejným mobilním telefonem. Tyto nálepky v sobě ukrývají většinou ID, které je následně vyhledáno v databázi. Výhodou tohoto provedení je kompatibilita s vnitřní mapou vytvořenou v prostředí WRLD3D a jejími smart prvky. Pro detekci hrany schodů byla zvolena technologie Hallových sond, které dokážou detekovat změnu magnetického pole. Pro tyto účely je zde návrh upravené slepecké hole, která v sobě ukrývá Hallovu sondu, výpočetní modul a vibrační modul. Jako výpočetní modul byl zvolen mikrokontroler Arduino Nano Every, nejmenší a nejlehčí možná varianta, která dokáže zpracovat digitální signály z Hallových sond a aktivovat vibrační motor, který upozorní uživatele na blížící se hranu schodu. Jako zdroj magnetického pole je vybrána magnetická podložka umístěná na prvním a posledním schodu. Jakmile se zrakově postižený dostane do prostoru nad podložkou Hallova sonda by měla detekovat magnetické pole a upozornit uživatele vibrací držadla. V poslední části této sekce je vytvořen program pro Arduino.

6 Závěr

Cílem práce bylo vytvořit vnitřní navigační systém pro nevidomé uvnitř budov. V teoretické části byly zhodnoceny získané poznatky týkající se osob se zrakovou poruchou. Z dat světové zdravotnické organizace (WHO) trpí poruchou zraku více jak 2 miliardy lidí. Pro které je pohyb po neznámých cestách a v neznámých budovách jedním z nejvíce limitujících faktorů. Až 80 % lidí s touto poruchou neopouští místo svého trvalého bydliště. Dle dostupných dat bylo zjištěno, že dosavadní navigace GPS nedostačuje při navigaci postiženého uvnitř neznámé budovy. V teoretické části byly obecně prezentována zjištěná data problematiky týkající se vnitřních navigačních systémů pro nevidomé. Při analýze bylo zjištěno, že většina dostupných vnitřních navigačních systémů skončila již ve fázi prototypu a nikdy nebyly nasazeny. Většina prozkoumaných studií zaměřila svoji pozornost na určení polohy uživatele v budově a již nebrala v potaz detekci obyčejných věcí, jako jsou schody a dveře. V praktické části byl teoreticky vytvořen model části vnitřního navigačního systému, který by mohl vést k možnému usnadnění pohybu a navigace zrakově postiženým.

Celý teoretický model vnitřního navigačního systému je založen kolem vytvoření vnitřní mapy objektu, umístění nutných popisných značek a vytvoření technického vybavení. Jako hlavní zdroj dat pro vnitřní mapu byl zvolen portál WRLD3D, kde uživatelé mohou sdílet své vytvořené vnitřní mapy s ostatními. V budoucnu při nasazení tohoto systému by byla tato možnost sdílení velmi užitečná, protože jako jedinec nebo menší skupina lidí není schopna zmapovat například část města v rozumném časovém měřítku. Při použití popisných značek je nutné je dodržovat dané směrnice pro umístění a vzhled značek. Při návrhu technického vybavení byla brána v potaz praktičnost a ekonomičnost použitých komponent, aby se nejednalo o nerealizovatelný systém ve větším měřítku. Všechny využití komponenty systému nejsou finančně nákladné, a proto je lze využít v každé budově a nebudou tak velkou investicí pro majitele. Jako hlavní technické vybavení systému je upravená slepecká hůl je vybavena mikrokontrolerem s USB portem. To by mělo zajistit udržitelnou aktuálnost řídicího kódu s možností pravidelných aktualizací.

Vzhledem k stávající koronavirové pandemii nebyla z bezpečnostních důvodů práce řešená praktickým vytvořením jednotlivých komponent systému, ale pouze teoretickým návrhem.

7 Bibliografie

- [1] L. Picinali, A. Afonso, M. Denis a B. F. Katz, „Exploration of architectural spaces by blind people using auditory virtual reality for the construction of spatial knowledge,“ *International Journal of Human-Computer Studies*, sv. 72, č. 4, pp. 393-407, 2014.
- [2] S. Millar, „Understanding and representing space: Theory and evidence from studies with blind and sighted children,“ *Clarendon Press/Oxford University Press*, 1994.
- [3] A. Ganz, J. Schafer, S. Gandhi, E. Puleo, C. Wilson a M. Robertson, „Percept indoor navigation system for the blind and visually impaired: architecture and experimentation,“ *International journal of telemedicine and applications*, sv. 2012, p. 19, 2012.
- [4] A. S. Helal, S. E. Moore a B. Ramachandran, „Drishti: An integrated navigation system for visually impaired and disabled,“ *Proceeding of the 5th International Symposium on Wearable Computers*, pp. 149-156, 2001.
- [5] K. J. Li a J. Y. Lee, „Basic concepts of indoor spatial information candidate standard indoorgml and its applications,“ *Journal of Korea Spatial Information Society*, sv. 21, č. 3, pp. 1-10, 2013.
- [6] J. Lee, K. Li, S. Zlatanova, T. Kolbe, C. Nagel a T. Becker, „OgcQR indoorGML,“ 2014.
- [7] W. Jeamwathanachai, M. Wald a G. Wills, „Map Data Representation for Indoor Navigation by Blind People,“ *International Journal of Chaotic Computing*, sv. 4, p. 73, 2017.
- [8] W. Jeamwathanachai, M. Wald a G. Wills, „Map data representation for indoor navigation,“ *International Conference on Information Society (i-Society)*, pp. 91-96, 2016.
- [9] R. Tapu, B. Mocanu a T. Zaharia, „Wearable assistive devices for visually impaired: A state of the art survey,“ *Pattern Recognition Letters*, č. 137, pp. 37-52, 2020.
- [10] W. Sakpere, M. Adeyeye-Oshin a N. Mlitwa, „A state-of-the-art survey of indoor positioning and navigation systems and technologies,“ *South African Computer Journal*, č. 3, pp. 145-197, 2017.
- [11] H. Zhang a C. Ye, „An indoor navigation aid for the visually impaired,“ *International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, pp. 467-472, 2016.

- [12] G. Schroeder, „A Real-Time UWB Multi-Channel Indoor Positioning System for Industrial Scenarios,“ *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pp. 1-5, 2018.
- [13] A. Ab Razak a F. Samsuri, „Active RFID-based Indoor Positioning System (IPS) for industrial environment,“ *IEEE International RF and Microwave Conference (RFM)*, pp. 89-91, 2015.
- [14] A. Hameed a H. A. Ahmed, „Survey on indoor positioning applications based on different technologies,“ *International Conference on Mathematics, Actuarial Science, Computer Science and Statistics (MACS)*, pp. 1-5, 2018.
- [15] S. Alghamdi, R. van Schyndel a I. Khalil, „Accurate positioning using long range active RFID technology to assist visually impaired people,“ *Journal of Network and Computer Applications*, č. 41, pp. 135-147, 2014.
- [16] S. A. Cheraghi, V. Namboodiri a L. Walker, „GuideBeacon: Beacon-based indoor wayfinding for the blind, visually impaired, and disoriented,“ *International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, pp. 121-130, 2017.
- [17] A. S. Martinez-Sala, F. Losilla, J. C. Sanchez-Aarnoutse a J. Garcia-Haro, „Implementation and Evaluation of an Indoor Navigation System for Visually Impaired People,“ *Sensors*, č. 15, 2015.
- [18] B. Mustapha, A. Zayegh a R. K. Begg, „Ultrasonic and Infrared Sensors Performance in a Wireless Obstacle Detection System,“ *International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation*, pp. 487-492, 2013.
- [19] M. I. Islam, M. Raj, S. Nath, M. F. Rahman, S. Hossen a M. H. Imam, „An Indoor Navigation System for Visually Impaired People Using a Path Finding Algorithm and a Wearable Cap,“ *International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, pp. 1-6, 2018.
- [20] C. Zhang, K. P. Subbu, J. Luo a J. Wu, „GROPING: Geomagnetism and cROwdsensing Powered Indoor Navigation,“ *IEEE Transactions on Mobile Computing*, č. 14, pp. 387-400, 2015.
- [21] M. Kotaru, K. Joshi, D. Bharadia a S. Katti, „Decimeter Level Localization Using WiFi,“ *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, pp. 269-282, 2015.
- [22] I. Ashraf, S. Hur a Y. Park, „Indoor Positioning on Disparate Commercial Smartphones Using Wi-Fi Access Points Coverage Area,“ *Sensors*, č. 19, 2019.

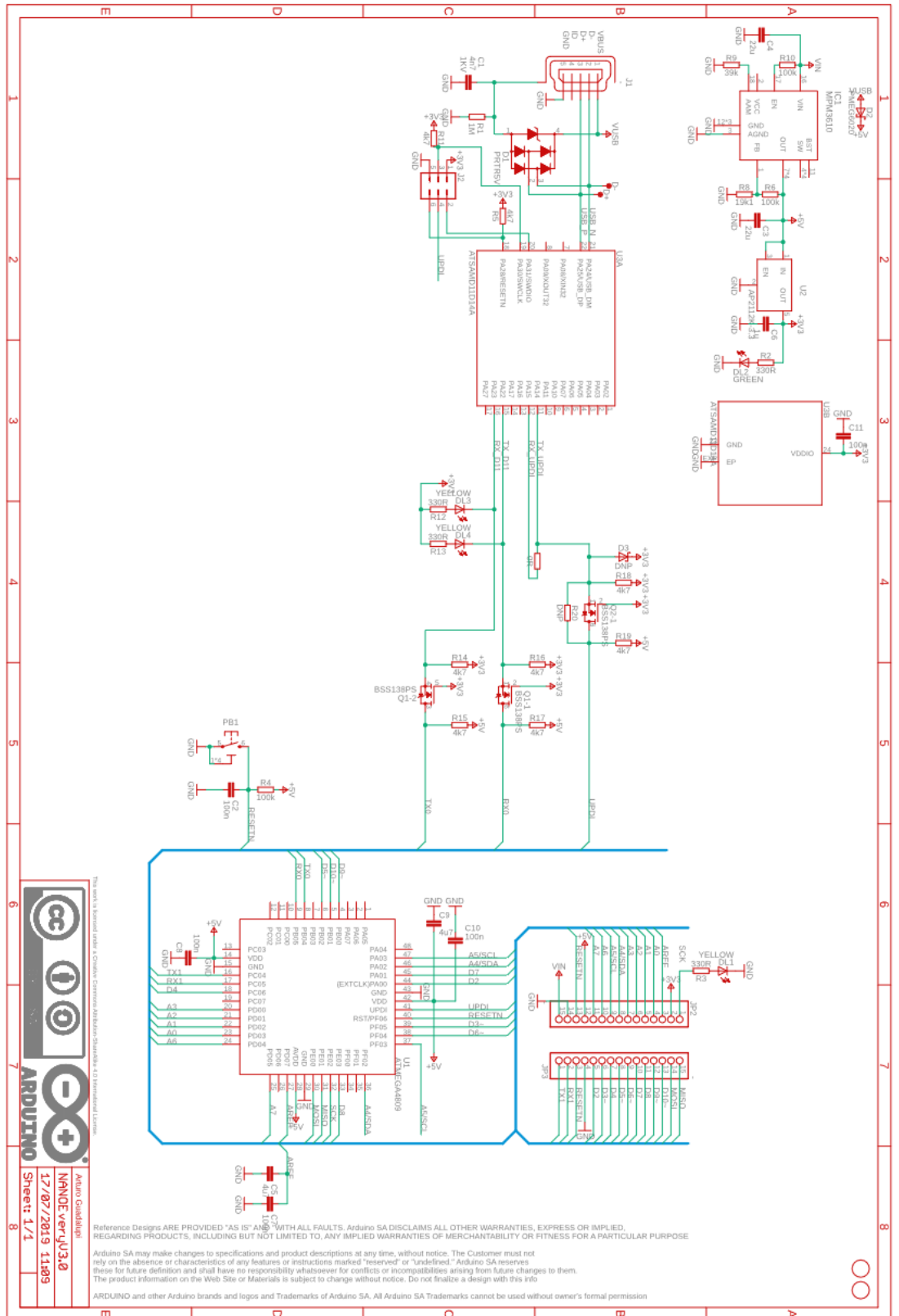
- [23] D. Plikynas, A. Žvironas, A. Budrionis a M. Gudauskis, „Indoor Navigation Systems for Visually Impaired Persons,“ *Sensors*, pp. 4-6, 2019.
- [24] R. Fontaine, „Recent innovations in CMOS image sensors,“ *IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 1-5, 2011.
- [25] C. Manlises, A. Yumang, M. Marcelo, A. Adriano a J. Reyes, „Indoor navigation system based on computervision using CAMShift and D* algorithm for visually impaired,“ *International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, pp. 481-484, 2016.
- [26] D. Jeon, N. Ickes, P. Raina, H. -C. Wang, D. Rus a A. Chandrakasan, „24 1 A 0.6V 8mW 3D vision processor for a navigation device for the visually impaired,“ *International Solid-State Circuits Conference (ISSCC)*, pp. 416-417, 2016.
- [27] Y. H. Lee a G. Medioni, „RGB-D camera based wearable navigation system for the visually impaired,“ *Computer Vision and Image Understanding*, č. 149, pp. 3-20, 2016.
- [28] V. Nair, C. Tsangouri, B. Xiao, G. Olmschenk, Z. Zhu a W. H. Seiple, „A Hybrid Indoor Positioning System for the Blind and Visually Impaired Using Bluetooth and Google Tango,“ *The Journal on Technology and Persons with Disabilities*, pp. 61-68, 2018.
- [29] B. Siddhartha, A. P. Chavan a B. V. Uma, „An Electronic Smart Jacket for the Navigation of Visually Impaired Society,“ *materialstoday: PROCEEDINGS*, pp. 10665-10669, 2018.
- [30] J. Rivera-Rubio, K. Arulkumaran, H. Rishi, I. Alexiou a A. A. Bharath, „An assistive haptic interface for appearance-based indoor navigation,“ *Computer Vision and Image Understanding*, č. 149, pp. 126-145, 2016.
- [31] J. Bai, S. Lian, Z. Liu, K. Wang a D. Liu, „Smart guiding glasses for visually impaired people in indoor environment,“ *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, č. 3, pp. 258-266, 2017.
- [32] WRLD, „Design Tool Documentation,“ 19 Říjen 2018. [Online]. Available: <https://mapdesigner.wrld3d.com/portal/latest/design-docs/>. [Přístup získán 1 Květen 2021].
- [33] SONS ČR, z. s., „Štítky - haptické,“ Metodické centrum odstraňování bariér SONS ČR, z. s., 2020. [Online]. Available: <https://www.sons.cz/Stitky-hapticke-P4005344.html#prettyPhoto>. [Přístup získán 5 Květen 2021].

- [34] Handi-friendly s.r.o., „Orientační systémy pro nevidomé a zrakově postižené,“ 15 Leden 2016. [Online]. Available: <https://www.handi-friendly.com/vodici-pasek-al-11/>. [Přístup získán 5 Květen 2021].
- [35] FLOMAT s.r.o., „FLOMAT - schodové hrany,“ 2017. [Online]. Available: https://www.flomat.cz/cerna-hlinikova-schodova-hrana-s-protiskluzovym-paskem-floma-antislip-delka-400-cm-sirka-5-3-cm-a-vyska-2-cm/?gclid=EAiaIQobChMI_fng2aK18AIVitKyCh0mqAUOEaQYASABEgJhgFD_BwE. [Přístup získán 5 Květen 2021].
- [36] RFID4U, „Dig Deep – Construction of RFID Tags,“ 2021. [Online]. Available: <https://rfid4u.com/dig-deep-construction-of-rfid-tags/>. [Přístup získán 8 Květen 2021].
- [37] S. Ahuja, „An introduction to RFID technology,“ *Communications and Network*, pp. 183-186, 2010.
- [38] R. Want, „An Introduction to RFID Technology,“ *Pervasive Computing*, pp. 25-33, 2006.
- [39] G. Phillips, „How Does RFID Technology Work?,“ MUO, Květen 31 2017. [Online]. Available: <https://www.makeuseof.com/tag/technology-explained-how-do-rfid-tags-work/>. [Přístup získán 9 Květen 2021].
- [40] C. Faulkner, „What is NFC? Everything you need to know,“ *Digital Trends*, 30 Listopad 2015. [Online]. Available: <https://www.digitaltrends.com/mobile/what-is-nfc/>. [Přístup získán 10 Květen 2021].
- [41] J. Wojnar, *Základy elektrotechniky*, Brno: Tribun EU, 2013. ISBN 978-80-263-0395-4
- [42] ElectronicsTutorials, „Hall Effect Sensor,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html>. [Přístup získán 10 Květen 2021].
- [43] V. Vaculík, *Snímače proudu*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011.
- [44] Honeywell, „Hall Effect Sensing and Application,“ 2017. [Online]. Available: <https://sensing.honeywell.com/hallbook.pdf>. [Přístup získán 10 Květen 2021].
- [45] Silicon Laboratories Inc., „Si720x Switch/Latch Hall Effect Magnetic Position Sensor,“ 1 Únor 2016. [Online]. Available: <http://www.farnell.com/datasheets/2693601.pdf>. [Přístup získán 10 Květen 2021].

- [46] Grobotronics, „Arduino Vibration Motor Module,“ 2021. [Online]. Available: <https://grobotronics.com/arduino-vibration-motor-module.html>. [Přístup získán 11 Květen 2021].
- [47] Arduino, „Arduino Nano Every,“ 2021. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-nano-every>. [Přístup získán 11 Květen 2021].
- [48] J. Reichl a M. Všetická, „Encyklopedie fyziky - Hallův jev,“ 2006. [Online]. Available: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/294-halluv-jev>. [Přístup získán 10 Květen 2021].

8 Samostatné přílohy

Příloha 1: Vnitřní schéma Arduino Nano Every



Zdroj: Arduino.cc