

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra kybernetiky



Bakalářská práce

Navigace v rozlehlých budovách pro osoby se sníženou schopností
pohybu a sníženou orientací v prostoru

Navigation in Large Buildings for People with Limited Orientation
and Movement

Autor: Václav Riss

Vedoucí práce: Ing. Petr Novák Ph.D.

Studijní program: Kybernetika a robotika

květen 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Riss** Jméno: **Václav** Osobní číslo: **491984**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra kybernetiky**
Studijní program: **Kybernetika a robotika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Navigace v rozlehlých budovách pro osoby se sníženou schopností pohybu a sníženou orientací v prostoru

Název bakalářské práce anglicky:

Navigation in Large Buildings for People with Limited Orientation and Movement

Pokyny pro vypracování:

V současné době se staví stále složitější budovy (úřady, nemocnice, obchodní centra atd.). Ty jsou zejména pro starší lidi, a lidi s poruchou orientace občas velmi obtížně zvladatelné. Z tohoto důvodu je potřeba pro tyto lidi vytvořit vhodné orientační / navigační systémy.

1. Seznamte se s principy navigace pro návštěvníky v rozsáhlých a složitých budovách. Zaměřte se na využití jejich principů (značky, tabulky, mobilní telefony). Zhodnoťte jejich přehlednost a snadnost použití.
2. Navrhněte systém využívající vhodně umístěné (programovatelné) NFC tagy jako lokalizační značky, které lze snímat / číst například pomocí mobilního telefonu.
3. Navrhněte vhodnou reprezentaci mapy budovy podporující hledání cesty pro různé typy návštěvníků (jako jsou vozíčkáři, osoby o berlích, osoby se sníženou orientací).
4. Vytvořte vzorovou aplikaci umístěnou u vchodu budovy a sloužící jako rozcestník pro plánování cesty podle zadaných parametrů.
5. Vytvořte vzorovou aplikaci pro mobilní telefon sloužící k průběžné lokalizaci / navigaci (pomocí NFC tagů) v naplánované cestě. Zaměřte se zejména na minimální celkovou náročnost, modularitu, snadnost instalace a přehlednost systému pro uživatele.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Matthew MacDonald, Pro WPF in C# 2010, Apress, 2013, ISBN 978-1-4302-7205-2
- [2] Matthew MacDonald, Pro WPF: Windows Presentation Foundation in .NET 3.0, Apress, 2007, ISBN 1-59059-782-6
- [3] Price Mark, C# 8.0 and .NET Core 3.0 - Modern Cross-Platform Development, Packt, 2019
- [4] WWW stránky / projekty zabývající se tímto problémem / tématikou
(další potřebné materiály poskytne vedoucí práce)

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Petr Novák, Ph.D. oddělení kognitivních systémů a neurovědy CIIRC

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **05.01.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2024**

Ing. Petr Novák, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Tomáš Svoboda, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 23.5.2023

.....

Václav Riss

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Petru Novákovi Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a aktivní podporu při vedení bakalářské práce. Děkuji také spolužákovi Martinu Vrňatovi, kterému vděčím za psychickou podporu při studiu.

Abstrakt

Tato práce se zabývá současnými možnostmi lokalizace a navigace lidí uvnitř rozlehlých budov (např nemocnice, úřady, nákupní centra atd.). Dále je v práci představen návrh navigačního systému, využívajícího NFC technologii, uzpůsobeného pro navigaci návštěvníků se sníženou schopností pohybu. V návrhu je popsán základní princip navigace využívající návštěvníkův osobní smartphone a lokalizační značky rozmístěné po budově. Výstupem práce je realizace návrhu a popis vyvinutých aplikací pro operační systémy Microsoft / Windows a Google / Android. V závěru jsou navrženy možnosti budoucího rozšíření vytvořeného navigačního systému.

Klíčová slova: Bakalářská práce, Navigace v budovách, C#, .NET, Prohledávání stavového prostoru

This thesis addresses the current possibilities of indoor localization and navigation for people within large buildings such as hospitals, government offices, and shopping malls. Furthermore, it presents a design for a navigation system utilizing NFC technology, specifically tailored for visitors with reduced mobility. The design describes the fundamental principles of navigation using the visitor's smartphone and localization tags distributed throughout the building. The output of the work includes the implementation of the design and a description of the developed applications for Windows and Android operating systems. The conclusion discusses potential future developments of the created navigation system.

Keywords: Bachelor thesis, Indoor navigation, C#, .NET, State Space Search

Obsah

Úvod.....	1
1 Současný stav	2
1.1 Způsoby lokalizace	2
1.2 Lokalizační metody využívající zabudované senzory	2
1.2.1 Optické lokalizační tagy	2
1.2.2 Porovnávání snímků	3
1.2.3 Přibližný odhad pomocí IMUs (Inertia Measurement Units).....	3
1.2.4 Porovnávání magnetického pole Země	3
1.3 Lokalizace pomocí RF signálů	4
1.3.1 Wi-Fi – lokalizace pomocí triangulace	4
1.3.2 Wi-Fi – lokalizace pomocí otisků okolí	4
1.3.3 Lokalizace pomocí Bluetooth.....	4
2 Navigační systémy využívané v současnosti	5
2.1 Orientační systém OC Flora	5
2.2 Navigační systém OC Černý Most	5
2.3 Nevýhody současného stavu.....	6
3 Cíle	8
3.1 Cílové budovy.....	9
3.2 Předpokládané chování uživatele	9
4 Návrh řešení	10
4.1 Základní princip.....	10
4.2 Výběr navigačního zařízení	11
4.3 Výběr způsobu lokalizace.....	12
4.4 Přesun dat z kiosku do nav. zařízení.....	12
4.5 Technologie NFC	13
4.5.1 Typy NFC zařízení	13
4.5.2 NDEF (NFC Data Exchange Format)	13
4.6 Návrh grafického rozhraní kiosku	14
4.6.1 Varianta A – jednodušší na ovládání.....	14
4.6.2 Varianta B – složitější na ovládání.....	17
4.6.3 Výběr varianty grafického rozhraní kiosku.....	17
4.7 Reprezentace budovy	18
5 Implementace	19

5.1	Implementace budovy.....	19
5.1.1	Blok.....	20
5.2	Plánování cesty.....	20
5.2.1	Reprezentace cesty.....	20
5.2.2	Hledání optimální cesty.....	22
5.3	Aplikace pro kiosek.....	23
5.3.1	Hlavní program.....	23
5.3.2	Grafické rozhraní (GUI).....	24
5.3.2.1	Zobrazení budovy a cesty.....	24
5.3.2.2	Konfigurace a zobrazení cílů.....	25
5.3.3	Reprezentace budovy v JSON.....	26
5.3.4	Přenos dat pomocí externího NFC zařízení.....	27
5.4	Aplikace pro navigační zařízení.....	28
5.4.1	Hlavní program.....	28
5.4.2	GUI (Grafické rozhraní).....	29
6	Manuál pro kiosek a nav. aplikaci.....	30
6.1	Používání aplikace na kiosku.....	30
6.1.1	Hlavní ovládací tlačítka.....	30
6.1.2	Výběr cíle.....	31
6.1.3	Zobrazení naplánované cesty.....	31
6.1.4	Tvorba a úprava reprezentace budovy.....	32
6.1.5	Tvorba a úprava cílů.....	32
6.2	Používání aplikace na navigačním zařízení.....	33
7	Možná budoucí rozšíření.....	34
	Závěr.....	35
	Reference.....	36
	Seznam použitých zkratk.....	37
	Seznam obrázků.....	38

Úvod

V dnešní době je nemalá část lidí zmatena při první návštěvě velkého obchodního centra a v budově poté stráví nemalý čas zdlouhavým hledáním cílového obchodu. K podobné situaci dochází však i při prvním vstupu do velké nemocnice nebo rozlehlého úřadu. Většina budov tento problém řeší např. směrovými tabulemi, plány budovy, nebo různými barevnými orientačními čarami jenž pomáhají návštěvníkům ve snadnější orientaci v areálu. Všechna tato řešení nejsou dostatečná pro určitou skupinu lidí, tedy zejména starší osoby anebo dokonce lidi s poruchou orientace.

Ideálním řešením se nabízí použití nějakého vhodného navigačního systému. Přesná navigace ve vnitřních budovách je však obtížný problém. Existuje několik způsobů vnitřní navigace např. pomocí síly Wi-Fi nebo Bluetooth signálů, případně senzorů zabudovaných ve smartphonech nebo jejich kombinací. Bohužel současné řešení nesplňují řadu kritérií (např. jednoduchá implementace, udržitelnost, přesnost, nízká cena atd.), aby je bylo možné snadno reálně a ve velkém využít.

Cílem této bakalářské práce je nejprve porovnat nejčastější způsoby navigace ve vnitřních prostorách. Následně navrhnout vlastní navigační systém odstraňující podstatné nedostatky současného stavu. A v posledním kroku navržený systém experimentálně implementovat.

1 Současný stav

1.1 Způsoby lokalizace

Pro běžnou lokalizaci mimo budovy se v současné době nejčastěji používá tzv. GPS (mobilní telefony, navigace v autě atd.). Tento způsob bohužel není možné využívat uvnitř budov, kde je signál z družic velmi slabý nebo žádný. Proto se v současnosti pro zjištění polohy uvnitř rozlehlých budov (např. úřady, nemocnice, nákupní centra apod.) používají různé metody založené na odlišném přístupu / principu. Všechny zde uvedené existující metody lokalizace předpokládají možnost využití běžného smartphonu pro lokalizaci. Zmíněné navigační / lokalizační systémy jsou tedy založeny na vcelku dostupných zařízeních.

1.2 Lokalizační metody využívající zabudované senzory

Senzory běžně dostupné v našich smartphonech jsou například akcelerometry, gyroskopy, magnetometry, barometry, kamery atd. Smartphone má tyto senzory zabudované primárně pro jiné účely, jejich naměřené hodnoty je ovšem možné využít i pro řadu lokalizačních metod. Následující podkapitoly popisují způsoby lokalizace pomocí optických lokalizačních značek, porovnávání snímků, přibližného odhadu chůze nebo porovnání hodnot magnetického pole Země.

1.2.1 Optické lokalizační tagy

Po budově jsou rozmístěny značky / tagy obsahující vhodně graficky zakódovanou svou vlastní polohu. Při pohybu po budově tak stačí mít s sebou pouze smartphone vybavený fotoaparátem, vyfotit zmíněný tag a tím z něj přečíst informaci o aktuální poloze. Pro snadnější přečtení informace z pořízeného snímku se používají tzv. optické tagy (viz Obrázek 1). [1]

Výhodou tohoto způsobu lokalizace je vysoká přesnost. Nevýhodou je naopak neschopnost se lokalizovat na místě, kde není optický tag přítomen nebo není dostupný.



Obrázek 1: Příklad některých typů využívaných optických tagů.

1.2.2 Porovnávání snímků

Tento způsob opět využívá kamery a porovnává aktuálně pořízený snímek scény v budově s referenčními snímky uloženými v databázi (budovy). Přesné porovnávání snímku může být výpočetně poněkud náročné a proměnné vnější podmínky mohou výrazně ovlivnit správnost výpočtu (např. změna osvětlení, posun nábytku atd.) a tedy i výslednou zjištěnou polohu.[1]

1.2.3 Přibližný odhad pomocí IMUs (Inertia Measurement Units)

IMUs, tedy inerciální měřicí jednotky, jsou v současnosti již zabudované běžně ve smartphonech. Pomocí naměřených dat z těchto senzorů lze měřit zrychlení a otáčení, a následně vypočítat ujitou vzdálenost a její směr. Takovým způsobem lze během pohybu lokalizovat libovolné zařízení pohybující se po nějaké trase. Z důvodu nízké ceny (ve smartphonech) je přesnost měření (především pro měření pohybu) pomocí IMUs nedostačující, a proto je (pouze) tento samotný způsob výpočtu pro lokalizaci nepoužitelný.

Pro výpočet ujité vzdálenosti lze místo směrového zrychlení detekovat kroky uživatele smartphonu. Následně z množství kroků vypočítat přibližnou ujitou vzdálenost a tím tedy novou polohu.

Princip tohoto způsobu lokalizace je relativně jednoduchý, avšak poskytuje pouze přibližné informace o aktuální poloze. Nevýhodou je narůstající chyba daná nepřesností tohoto typu senzorů. Pro nedostatečnou přesnost lze tento způsob spíše použít v kombinaci s jinou lokalizační metodou schopnou se vždy po nějaké době / vzdálenosti absolutně lokalizovat, a tak odstranit nežádoucí narůstající chybu.[2]

1.2.4 Porovnávání magnetického pole Země

Při této metodě smartphone porovnává aktuální hodnotu naměřenou (interním) magnetometrem s databází naměřených hodnot z celého prostoru budovy. Princip této metody je v podstatě stejný jako u porovnávání snímků. Tuto realizaci lze rozdělit do dvou částí. V první části probíhá tvorba databáze pomocí měření hodnot na jednotlivých místech po celé budově a v druhé části již samostatná lokalizace pomocí porovnávání hodnot. Univerzita Oulu ve Finsku vytvořila lokalizační systém s názvem Indoor Atlas. Zmíněný systém kombinuje přibližný odhad pohybu pomocí IMUs a porovnávání hodnoty magnetického pole a dosahuje přesnosti 0.1 – 2 metry.[3]

Tato metoda je tedy celkem přesná, avšak i magnetické pole Země může být rušeno mnoha lokálními vlivy. Důležitou podmínkou pro spolehlivost této metody je vytvořit použitelnou databázi naměřených hodnot z celé budovy.

1.3 Lokalizace pomocí RF signálů

Smartphony v současnosti využívají Wi-Fi a Bluetooth komunikaci založenou na rádiových vlnách. Následující zmíněné metody jsou založeny na schopnosti smartphonu určovat sílu detekovaných signálů a pomocí této informace v podstatě lokalizovat smartphone v budově.

1.3.1 Wi-Fi – lokalizace pomocí triangulace

Princip tohoto způsobu spočívá v monitorování dostupného Wifi signálu, přesněji řečeno jeho síly. Z předem známých informací o poloze alespoň tří zdrojů těchto signálů lze odhadnout pozici přijímajícího zařízení. Pro lokalizaci musí být pokryty všechny prostory budovy Wi-fi signálem a musí být známy pozice jednotlivých zdrojů signálu. Současný dosah Wi-fi signálu se pohybuje v řádu nižších desítek metrů. Při průchodu signálu překážkami v budově (např. stěna, nábytek atd.) dochází ke zkreslení síly signálu, což zvyšuje nepřesnost lokalizace.[3]

Nevýhodou tohoto způsobu je poměrně vysoká nepřesnost (metry a více), na druhou stranu je možnost lokalizace všude, kde je dostupný Wi-fi signál.

1.3.2 Wi-Fi – lokalizace pomocí otisků okolí

Tento způsob využívá více zdrojů Wi-Fi rozmístěných po budově současně. Lokalizované zařízení nejdříve zjistí sílu jednotlivých detekovaných signálů a tuto informaci porovná s databází naměřených signálů na různých místech po budově (tzv. otisků okolí). Tímto způsobem lze lokalizovat zařízení s přesností i jednotek metrů, přesnost lze ovlivnit zvýšením hustoty zdrojů signálu po budově. Otisky okolí však nemusí vždy přesně odpovídat realitě z důvodu změny prostředí (např. změna rozestavění nábytku po místnostech, naplnění skladu, kolemjdoucí atd.).[4]

Oproti předchozímu způsobu je tento způsob přesnější. Pro realizaci je ovšem potřeba instalovat více zdrojů signálu po budově a vytvořit poměrně komplexní databázi otisků okolí.

1.3.3 Lokalizace pomocí Bluetooth

Principiálně jde o stejný princip jako měření pomocí Wi-fi, ovšem místo Wi-fi se měří síla signálu Bluetooth zdrojů rozmístěných po budově. Výhodou je možnost využití technologie BLE (Bluetooth Low Energy). BLE poskytuje Bluetooth signál s výrazně nižší spotřebou energie a zdroj signálu lze tedy napájet i z baterie. To umožňuje optimálně rozmístit zdroje signálu po budově nezávisle na možnosti napájení ze sítě. [5]

2 Navigační systémy využívané v současnosti

V běžném životě se s navigačními systémy v rozlehlých budovách zas tak často nesetkáme. Pokud se setkáme s řešením pro poskytnutí dostatečné orientace v budově, jde převážně o informační / lokalizační systém. Dále se můžeme setkat s interaktivním navigačním systémem v budově. Tento systém se převážně v budovách vyskytuje ve formě kiosku u vchodu nebo v nějakém uzlovém místě.

2.1 Orientační systém OC Flora

Obchodní centrum Flora (Praha – Vinohrady) využívá pro lepší orientaci návštěvníků informační panely rozmístěné po celém areálu obchodního centra. Informační panel obsahuje mapu budovy rozvrženou na jednotlivá patra (viz Obrázek 2). Každý obchod má přiřazené orientační číslo umístěné na místě obchodu v mapě a současně v seznamu všech dostupných obchodů v celém OC. Informační panel žádným způsobem neinteraguje s uživatelem. Slouží tedy pouze jako nástěnný informační panel, většinou ve formě velkoplošné televize.

Výhodou takového typu informačního systému je velmi jednoduchá instalace a současně i správa. Při jakékoliv změně rozložení obchodů v budově může administrátor pouze přepsat konfigurační údaje a dojde okamžitě k aktualizaci zobrazení na všech informačních panelech / obrazovkách.

2.2 Navigační systém OC Černý Most

V rozsáhlém obchodním centru Černý Most (Praha – Černý Most) je k dispozici u vchodů do budovy navigační systém v podobě kiosku (v podstatě stojan s dotykovou obrazovkou). Uživatel na kiosku pomocí vyhledávacího prostředí určí název hledaného cíle (např. název obchodu) a po potvrzení cíle se na mapě zobrazí trasa od tohoto kiosku do zvoleného cíle.

Tento navigační systém je pro uživatele orientačně pohodlnější. Po opuštění kiosku je ovšem si potřeba trasu zapamatovat. Při chybě v průběhu cesty se musí uživatel opět zorientovat, a to již samostatně, což může být pro některé návštěvníky ne zcela snadné a též časově náročné. Údržba tohoto systému je podobně jednoduchá jako u orientačního systému používaného v OC Flora.



Obrázek 2: Ukázky současných systémů v budovách. Vlevo orientační systém OC Flora, vpravo navig. systém OC Černý most.

2.3 Nevýhody současného stavu

V současnosti se nejvíce využívají pouze orientační systémy formou informační tabule, případně navigační systémy ve formě jednoduché aplikace na kiosku u vchodu budovy. Tyto systémy mají z našeho pohledu následující hlavní nevýhody:

- Absence interakce / navigace / pomoci během cesty – Uživatel je zcela informován pouze na začátku cesty a při cestě je již odkázán pouze na zapamatované informace. Tyto informace jsou pro dosažení do cíle zásadní a zapamatování může být pro některé uživatele obtížné.
- Absence alternativní cesty při zabloudění – Pokud se uživatel po cestě ztratí, musí se sám v budově nějak zorientovat, což je časově náročné.
- Absence parametrů při plánování cesty – Uživatel je odkázán na obecné plánování cesty aplikací na kiosku. Nepracuje se s informací o pohybovém omezení uživatele a naplánovaná cesta pro uživatele může být zbytečně obtížná nebo nerealizovatelná.

1. Názvosloví

Pro dobrou orientaci v dalším textu byly zavedeny následující pojmy:

Cesta – Trasa skládající se většinou z posloupnosti dílčích úseků z výchozího do cílového místa.

Navigace – Sada povelů / doporučení k zajištění správného průchodu cestou. V průběhu navigace se často využívá lokalizace pro zjištění aktuální polohy na (plánované) cestě, tedy v podstatě kontrola správnosti cesty.

Lokalizace – Způsob / postup, jak určit svoji polohu na své (plánované) cestě. Nejčastěji pomocí nějakých okolních / orientačních značek.

Informační/orientační systém (u vchodu do budovy) – Systém textově / graficky popisující strukturu a rozmístění cílů v budově např. pomocí směrových tabulí, textových popisků atd. Tyto systémy jsou zcela statické, tedy nijak neinteragují s návštěvníkem. Tato práce se nevěnuje informačním systémům.

Kiosek (u vstupu) – Počítačový terminál (nejčastěji) s větší dotykovou obrazovkou schopný interakce s uživatelem. Uživatel na obrazovce vybírá cíl cesty a kiosek zadanou cestu naplánuje, a tedy poradí uživateli, jak se nejlépe / nejrychleji dostat do cílového místa (například zobrazením cesty v mapě budovy).

Navigační systém (v budově) – Systém navržený za účelem skutečného (často interaktivního) navádění / směrování uživatele do zvoleného cíle. Systém je založený hlavně na navigaci a rovněž často využívá nějaký typ (průběžné) lokalizace.

Lokalizační/orientační body – Objekty rozmístěné po budově sloužící k okamžité lokalizaci v průběhu (naplánované) cesty. Může jít buď pouze o pasivní lokalizaci, kdy návštěvník pouze svým pohledem (po okolí) ověřuje, zda se stále nachází na požadované trase. Nebo se naopak využívá aktivní lokalizace, kdy návštěvník obdrží (ruční) zařízení automaticky / průběžně detekující jeho skutečnou polohu, a tedy stále kontrolující správnost cesty.

Osoby se sníženou schopností pohybu a orientace v prostoru (dále jen primární uživatelé) – Pro tyto osoby jsou běžné navigační systémy nedostačující / složité a často vyžadují dodatečné informace, nebo dokonce přímo (i průběžnou) pomoc.

3 Cíle

Navigace uvnitř budov je obtížný problém. V úvodní části jsou popsána některá současná řešení a s nimi spojené nevýhody. Cílem následující části bakalářské práce je navrhnout a experimentálně implementovat navigační systém s následujícími vlastnosti:

- **Individuální plánování cesty** – Systém by měl pracovat s informací o pohybovém omezení uživatele a podle toho naplánovat cestu. Doporučená cesta by měla být pohybově přiměřená a zároveň nejkratší v rámci daného pohybového omezení.
- **Průběžná navigace** – Systém by měl uživatele během cesty navigovat. Pokud se uživatel ztratí, měl by se pomocí nějaké lokalizační metody lokalizovat. Systém by měl v případě potřeby cestu přeplánovat a tím dovést uživatele do skutečného cíle.
- **Robustní lokalizace** – Důležitou součástí navigačního systému je stabilní a dostatečně spolehlivá lokalizace. Bez robustní lokalizace nemůže navigační systém uživatele správně průběžně navigovat.
- **Jednoduché a intuitivní grafické rozhraní** – Grafické rozhraní by mělo mít jasnou a jednoduchou strukturu. Uživatel by neměl mít problém použít navigační systém i při prvním použití.
- **Jednoduchá správa systému** – Systém by měl být vyvinut tak, aby jej mohl správce snadno upravovat / aktualizovat (např. úprava informací o budově, úprava cílů v budově). Zároveň by systém měl používat způsob lokalizace jednoduše instalovatelný do celé budovy.

Cílem práce není vytvořit systém připravený ke komerčnímu použití, neřeší bezpečnost a ani ochranu před vniknutím do tohoto systému. Práce se zabývá především principiálním návrhem celkového systému a ověření jeho základní funkčnosti.

Systém je zaměřen zejména na budovy čtvercového půdorysu.

3.1 Cílové budovy

Navrhovaný navigační systém by měl být cílen na následující typy (rozlehlých) budov:

- **Nemocnice** – Dnes již velmi složité budovy nejčastěji navštěvované právě staršími lidmi (naší cílovou skupinou uživatelů).
- **Úřady** – Rovněž rozlehlé budovy. Již méně, ale přesto někdy i několikrát za rok navštěvované rovněž staršími lidmi (naší cílovou skupinou uživatelů).
- **Nákupní centra** – Dnes velmi často skutečně složité budovy na orientaci. Tyto budovy nejsou častým, ale bohužel občas nutným cílem starších lidí (pobočky pošty, bank, mobilní operátoři atd).

Navigační systém by měl být přizpůsoben tak, aby jej mohli využít nejen běžní návštěvníci budovy, ale hlavně naši primární uživatelé. Takový systém je určen především do nemocnic. Jedná se o rozlehlé budovy těchto zařízení, jsou tedy náročné na orientaci a jsou zřejmě nejčastěji navštěvovány primárními uživateli.

Dalšími cílovými budovami jsou úřady (často sjednocovány do větších komplexů). Primární uživatelé budou rovněž muset velmi pravděpodobně jednou za čas využít těchto prostor pro vyřízení různých úředních záležitostí.

Posledními uvedenými cílovými budovami jsou obchodní centra. Ty stále častěji soustřeďují rovněž i další typy jednou za čas potřebných činností. Nově postavená obchodní centra mohou mít neortogonální chodby.

3.2 Předpokládané chování uživatele

Všechny osoby navštěvující výše zmíněné rozlehlé budovy můžeme rozdělit do následujících skupin:

- Navštěvují budovu pravidelně, ale v ní převážně pouze jeden cíl (nejčastěji nemocnice a to svého lékaře).
- Navštěvují budovu pravidelně, ale v ní různé cíle (například úřady pro vyřízení občanských záležitostí).
- Navštěvující budovu velmi zřídka a nepravidelně (například nákupní centra obsahující pobočky pošty, bank atd.).

Uživatel pravidelně navštěvující v budově většinou jeden cíl využije navigační systém (zřejmě) pouze při několika prvních návštěvách budovy. Poté si trasu již dostatečně zapamatuje a navigační systém v podstatě nevyužívá (v budově se již dostatečně orientuje). Takový uživatel bude nezkušený ohledně prvotního použití navigačního systému a bude vyžadovat intuitivní ovládání.

Uživatel navštěvující různé cíle v budově využije navigační systém zřejmě nejčastěji. Při opakovaném používání uživatel nabude zkušeností s používáním tohoto systému a zvládne tedy ovládat i poněkud složitější systém. Navolení trasy na kiosku bude tedy zvládat rychleji.

Uživatel velmi zřídka navštěvující budovu a tím i velmi zřídka využije kiosku. Takový uživatel je nezkušený (po delší době zapomene ovládání) ohledně používání navigačního systému a bude vyžadovat velmi jednoduché a intuitivní / názorné ovládání.

4 Návrh řešení

4.1 Základní princip

V rámci bakalářské práce je dále popsán návrh navigačního systému cíleného na rozsáhlé a složité budovy. Zmíněný systém je navržen tak, aby byl uživatelsky přívětivý, lehce spravovatelný a rovněž cenově dostupný. Současně je schopen navigovat i osoby se zhoršenou orientací v prostoru, či nějakým pohybovým omezením.

Navržený navigační systém se skládá ze tří hlavních prvků / částí:

- **Kiosek** – umístěný nejčastěji u vstupu do budovy.
- **Navigační zařízení** uživatele (dále jen nav. zařízení) – např. běžný smartphone nebo jiné zařízení využitě jako osobní navigační / lokalizační zařízení.
- **Lokalizační značky** vhodně rozmístěny po budově (trase cesty).

Před příchodem do budovy se předpokládá stažení potřebné aplikace uživatelem do svého nav. zařízení. Toto lze samozřejmě uskutečnit i přímo v budově.

Po příchodu do budovy uživatel využije kiosku umístěný na dobře viditelném místě (např. u hlavního vchodu, u vrátnice apod.). Kiosek je v podstatě libovolný počítač s větším dotykovým displejem a vše je umístěno na vhodném stojanu / panelu. Na kiosku uživatel vybere cíl cesty a případně upřesní své pohybové omezení. Poté kiosek naplánuje trasu a tu graficky zobrazí na svém displeji, nejlépe přímo v mapě budovy, aby byl uživatel co nejvíce obeznámen s budoucí cestou a orientoval se tedy v určitém prostoru budovy.

Dalším krokem je přenos informací (naplánované cesty) z kiosku do osobního nav. zařízení později použitým pro navigaci / lokalizaci na trase. Do nav. zařízení se přenesou důležité informace o cestě a uživatel se tedy vydává na cestu od kiosku k naplánovanému cíli.

Nav. zařízení průběžně naviguje uživatele po zvolené trase pomocí jednoduchých povelů např. „Jdi 20 metrů vpřed a následně zatoč vpravo.“, „Vyjdi schody.“ apod. Uživatel splnění každého povelu potvrzuje tlačítkem „Ano vykonal jsem.“ v aplikaci na nav. zařízení. Pokud se uživatel po cestě neztratí (což se samozřejmě předpokládá), je schopen tímto způsobem dosáhnout požadovaného cíle.

Pokud se však uživatel po cestě ztratí, využije lokalizačních značek viditelně rozmístěných po budově. Každá lokalizační značka obsahuje informaci o své přesné poloze (v rámci budovy). Uživatel tedy vyhledá nejbližší zmíněnou lokalizační značku, pomocí nav. zařízení z ní přečte informaci o současné poloze a navigační zařízení v případě potřeby přeplánuje cestu. Poté je uživatel navigován do původního cíle již ze současného místa. Pokud se během cesty opět ztratí, opět využije nejbližší značku pro lokalizaci a cesta se opět znova upraví / naplánuje.

Po splnění posledního povelu a potvrzení tlačítkem „Ano, vykonal jsem.“ uživatel dorazil do cíle a navigační systém se ukončuje.

Lokalizační značka může být umístěna i přímo na cílové pozici. Například na dveřích cílového lékaře. Takže lze snadno vykonat lokalizaci na skutečně cílové poloze.

4.2 Výběr navigačního zařízení

Pro navržený systém připadají v úvahu dvě možnosti navigačního zařízení:

- **Speciálně vytvořené navigační zařízení** - Uživatel u kiosku dočasně obdrží zařízení přímo vytvořené pro navržený navigační systém. Zařízení bude vybaveno potřebným hardwarem pro čtení lokalizačních značek a zároveň bude schopno přepočítat cestu. Dále dokáže navigovat uživatele pomocí (nejlépe hlasových) povelů.
Výhodou tohoto řešení je možnost navigovat prakticky kohokoliv. Stačí tedy pouze přijít ke kiosku, navolit cíl a pohybové omezení, vyzvednout nav. zařízení, a následně se jím nechat navigovat. Nevýhodou je náročný vývoj takového zařízení, a tedy celková vyšší cena navigačního systému. Navíc pro navigaci více uživatelů je potřeba obstarat na cestu dostatečný počet takovýchto zařízení, tedy pro každého uživatele vlastní. Dále se nabízí otázka, co se stane s tímto zařízením po dosažení cíle uživatelem – je potřeba nějakým způsobem přemístit zařízení zpět ke kiosku pro příštího uživatele, nebo spoléhat na jeho vrácení uživatelem.
- **Běžný osobní smartphone** - Uživatel využije svůj (osobní) smartphone jako navigační zařízení. Před plánováním cesty si uživatel do svého smartphonu stáhne aktuální verzi mobilní aplikace (obsahující i mapu budovy). Po naplánování cesty se přenesou informace o cestě z kiosku do aplikace na smartphonu (např. pomocí QR kódu, Wi-fi, Bluetooth, NFC atd.). Na cestě je pak uživatel navigován zcela pomocí svého vlastního smartphonu.
Toto řešení není tak vývojově náročné ve srovnání s předchozím řešením, zároveň je finančně úspornější (stačí vytvořit pouze navigační aplikaci, nikoliv celé zařízení). Navíc lze navigovat (v podstatě) neomezené množství uživatelů současně. Navigační systém bohužel nemohou používat lidé s žádným nebo nedostatečně softwarově a hardwarově vybaveným smartphonem (čtečka NFC).

Při srovnání výhod a nevýhod těchto dvou popsaných možností jsem se rozhodl pro navigační zařízení ve formě (vlastního) smartphonu. Hlavním důvodem je jednodušší vývoj a možnost bez problému navigovat více uživatelů současně (což v rozlehlých budovách s vysokými počty návštěvníků lze očekávat).

4.3 Výběr způsobu lokalizace

Součástí dobrého / kvalitního navigačního systému je rovněž lokalizace, kterou lze uskutečnit různými způsoby popsány v kapitole 1.1. Při srovnávání těchto jednotlivých způsobů jsem se rozhodl pro lokalizaci pomocí jednoduchých a levných lokalizačních značek, a to kvůli následujícím vlastnostem:

- Dostatečně přesné a robustní – Přesná poloha je pro správnou navigaci zásadní a bez ní nelze úspěšně dovést uživatele do cíle.
- Jednoduše realizovatelné a spravovatelné / udržovatelné.
- Levné pořízení a instalace.

Dále je potřeba určit konkrétní typ použité lokalizační značky. Lokalizační značky / tagy se rozlišují podle způsobu přenosu informace z lokalizačního tagu do nav. zařízení. Typy lokalizačních značek přicházejících v úvahu jsou následující:

- **Optické lokalizační značky** (QR kód, Data matrix, EZ kód atd.) – Pro načítání informace ze značky je potřeba použít kameru v nav. zařízení. Při použití není potřeba žádné další specifické technologie. Pro změnu informace ve značce je potřeba vytisknout novou značku a tu znovu umístit do prostoru budovy.
- **NFC tagy** – Pro načítání informace z NFC tagu se využívá NFC technologie, v dnešní době obsažená v naprosté většině smartphonů. NFC tagy jsou pro účely systému poměrně levné (jednotky korun) a informace na nich se mohou i přepisovat / doplňovat.

Při výběru lokalizačního tagu jsem se rozhodl pro technologii NFC z důvodu jednoduché přepisovatelnosti tagu na rozdíl od optických lokalizačních značek.

4.4 Přesun dat z kiosku do nav. zařízení

Uživatel si na kiosku nejdříve navolí své pohybové omezení a následně vybere cíl cesty. Aby mohlo nav. zařízení (v tomto případě smartphone) uživatele navigovat, musí se naplánovaná trasa z kiosku přenést do nav. zařízení (nejlépe bezdrátově).

Možnosti přenosu cesty z kiosku do nav. zařízení jsou následující:

- **Wi-fi** – Nav. zařízení se připojí na Wi-fi vytvářenou například přímo kioskem.
- **Bluetooth** – Nav. zařízení se spáruje s kioskem.
- **QR kód** – Na displeji kiosku se zobrazí QR kód a uživatel jej vyfotí / sejme pomocí nav. zařízení.
- **NFC** – Nav. zařízení uživatel přiloží k vyznačenému místu na kiosku. Na tomto místě bude umístěn NFC modul pro přenos dat z aplikace kiosku do nav. zařízení.

Navigační systém již využívá technologii NFC (pro lokalizaci), a proto i v tomto případě jsem zvolil stejnou technologii. Jedinou nevýhodou je nízká přenosová rychlost, toto však není nikterak znatelné omezení, neboť se bude jednat pouze o přenos informací o naplánované cestě.

4.5 Technologie NFC

NFC (Near Field Communication) je technologie rádiové bezdrátové komunikace umožňující výměnu dat mezi dvěma zařízeními na krátkou vzdálenost (milimetry až centimetr). Zde vybraná NFC technologie pracuje na kmitočtu 13,56 MHz s přenosovou rychlostí od 106 do 424 kbit/s a je určena pouze pro přenos malého objemu dat. Tímto typem je vybavena naprostá většina dnešních mobilních telefonů. Protože je tato technologie součástí návrhu řešení, je tedy vhodné poněkud podrobněji popsat tento způsob komunikace.[5]

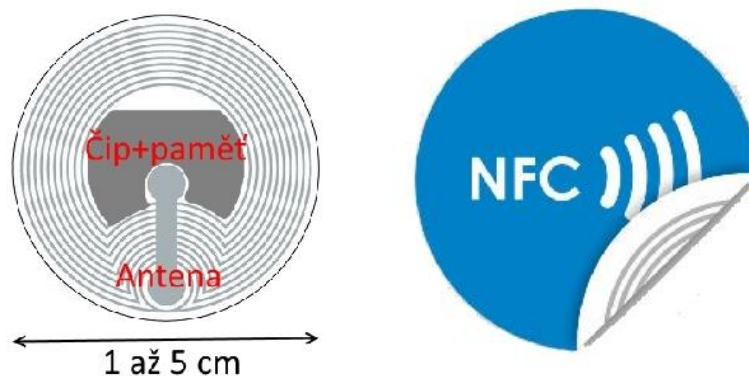
4.5.1 Typy NFC zařízení

NFC zařízení se dělí podle zdroje energie na dva typy – aktivní a pasivní. Pasivní zařízení naruždíl od aktivního nemá vlastní zdroj energie. Komunikace aktivního zařízení s pasivním se nazývá pasivní způsob. Pokud obě zařízení jsou aktivní, jedná se aktivní způsob komunikace. Při komunikaci je potřebné rozlišovat různé módy provozu, ve kterých zařízení právě komunikují. Celkově existují následující tři módy provozu NFC:

- **Čtecí a zapisovací zařízení** – Z daného zařízení lze číst i zapisovat do něj data.
- **Karetní emulátor** – Zařízení slouží pouze jako identifikační prvek (pouze pro čtení).
- **Peer-to-peer** – Dvě zařízení si vzájemně vyměňují data.

4.5.2 NDEF (NFC Data Exchange Format)

Pro snadnou komunikaci mezi různými zařízeními jsou data formátována do jednotného formátu zvaného NDEF. S tímto formátem přišla organizace NFC fórum snažící se standardizovat a vylepšovat technologii NFC. Formát je specifikován pro účely přenosu mnoha typů dat libovolné délky (texty, URL adresy, navštívenky atd.). Zároveň data žádným způsobem nešifruje.



Obrázek 3: NFC tag, Vlevo vnitřní struktura, vpravo samolepící tag.

4.6 Návrh grafického rozhraní kiosku

Na základě předpokládaného chování uživatele byla navržena následující grafická rozhraní aplikace kiosku lišící se podle složitosti ovládání:

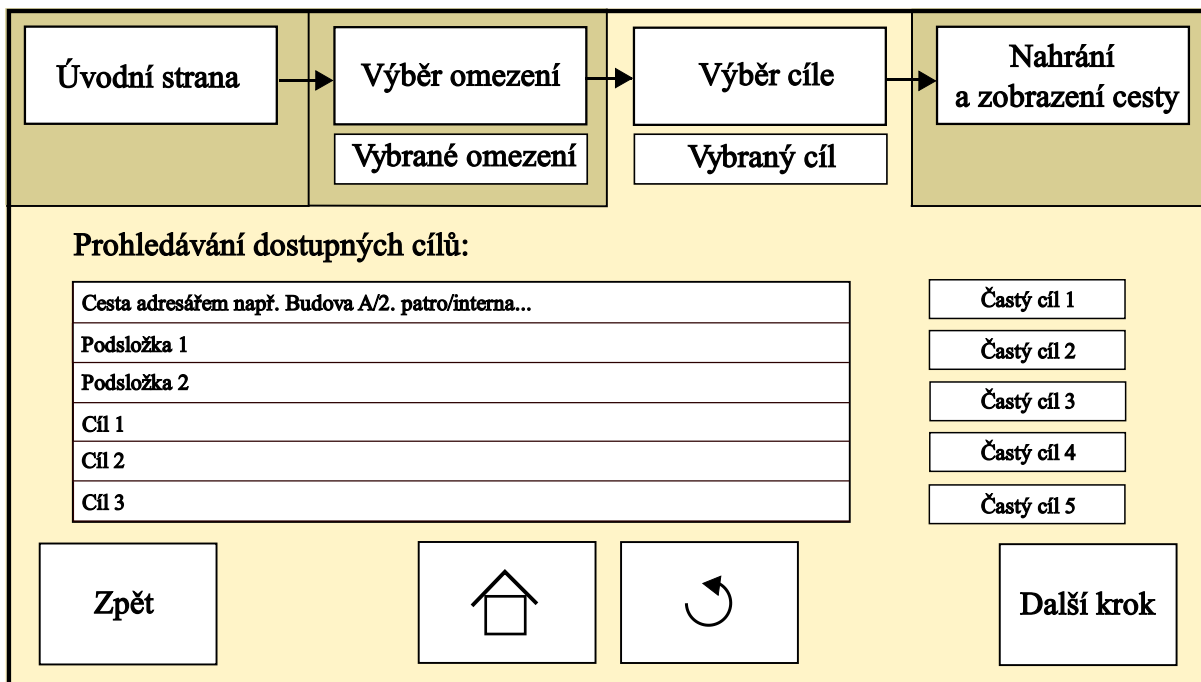
- **Varianta A** – jednodušší na ovládání – méně informací v jednom okamžiku
- **Varianta B** – složitější na ovládání – více informací současně

Obě varianty jsou detailněji popsány v následujících kapitolách.

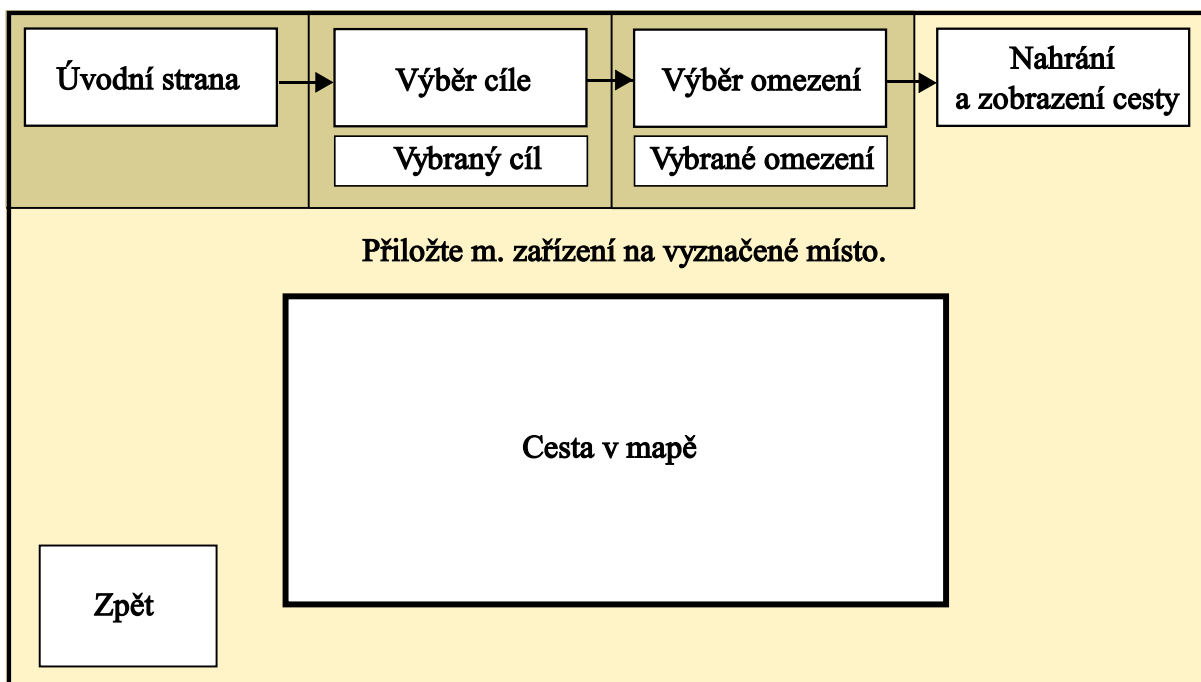
4.6.1 Varianta A – jednodušší na ovládání

Varianta A představuje návrh pro méně zkušené uživatele. Uživatel prochází aplikací postupně pomocí posloupnosti jednotlivých kroků zobrazených v horní části obrazovky. Uživatel se přesouvá mezi zmíněnými kroky pomocí šipek (vpřed/vzad) umístěných v dolních rozích. Jednotlivé kroky jsou následující:

- **Úvodní strana** - Zde (viz Obrázek 4) se uživatel přečtením krátkého úvodu dozví základní informace o navigačním systému (v podstatě stručný manuál).
- **Výběr omezení** – V tomto kroku (viz Obrázek 5) si uživatel jednoduše vybere své pohybové omezení z dostupného seznamu. Tato informace se při výpočtu trasy využije, aby výsledná trasa byla průchodná i s vybraným omezením (např. invalidní vozík, berle, vodící pes atd.). Poté se přesune k dalšímu kroku.
- **Výběr cíle** - Zde (viz Obrázek 6) uživatel vybírá cíl pomocí stromové struktury. V tomto stromě uživatel vybírá z dostupných podsložek, mezi nimiž nalezne svůj cíl. Pro návrat o krok zpět nebo zcela na začátek lze využít tlačítka umístěná dole uprostřed. V návrhu je možno rovněž na pravé straně nastavit zobrazení některých předvybraných cílů (např. kantýna, toalety atd.), což může uživateli velmi urychlit výběr.
- **Nahrání a zobrazení cesty** – Na poslední straně (viz Obrázek 7) uživatel bude vyzván, aby ke kiosku přiložil svůj mobilní telefon. Po nahrání cesty se uživateli zobrazí naplánovaná cesta v mapě budovy také na jeho osobním navigačním/lokalizačním zařízení.



Obrázek 6: Návrh navigačního systému, Varianta A, výběr cíle pomocí stromové struktury

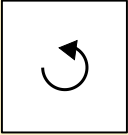

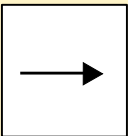


Obrázek 7: Návrh navigačního systému, Varianta A, zobrazení cesty a její přenos do navig. zařízení

4.6.2 Varianta B – složitější na ovládání

Varianta B představuje složitější návrh, kde se všechny informace do aplikace zadávají na displeji na jedné stránce (viz Obrázek 8). V horním panelu si nejdříve uživatel zvolí konkrétní část budovy a v dolní části své pohybové omezení. Následně si navolí cíl buď z levého panelu nejpoužívanějších cílů, anebo si nalezne cíl v adresáři zobrazeném uprostřed. Pro prohledávání v adresáři uživatel může využít ovládací panel umístěný napravo. Po zvolení omezení a výběru cíle uživatel potvrdí zadané informace kliknutím na tlačítko šipky v pravém panelu dole.

Nakonec se po stisknutí šipky zobrazí cesta v mapě a uživatel si načte informace z kiosku do nav. zařízení.

	Budova A	Budova B	Budova C	Budova D	Budova E	
Častý cíl 1	<input type="text" value="Cesta adresářem např. Budova A/2. patro/interna..."/>					
Častý cíl 2	<input type="text" value="Podsložka 1"/>					
	<input type="text" value="Podsložka 2"/>					
	<input type="text" value="Cíl 1"/>					
Častý cíl 3	<input type="text" value="Cíl 2"/>					
	<input type="text" value="Cíl 3"/>					
	Omezení 1	Omezení 2	Omezení 3	Omezení 4	Omezení 5	

Obrázek 8: Návrh navigačního systému, Varianta B

4.6.3 Výběr varianty grafického rozhraní kiosku

Po srovnání obou variant jsem vybral variantu A, tedy tu jednodušší na ovládání, pro její intuitivnější znázornění. Ve variantě B je sice uživatel schopen na kiosku rychleji zadat potřebné informace, ale při prvním použití bude pomalejší a komplexnost pouze jedné obrazovky jej může od použití navigačního systému odradit.

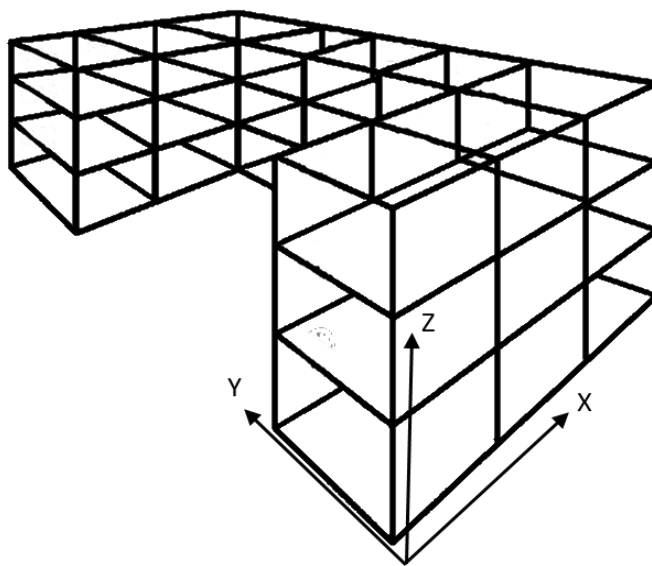
4.7 Repräsentace budovy

Repräsentace (logická) budovy představuje formu, jak budou informace o budově uloženy v navigačním systému. Aplikace budou pracovat s repräsentací budovy uzpůsobenou pro následující činnosti:

- **Hledání cesty** – Repräsentace bude vhodně strukturovaná pro algoritmus hledající nejkratší cestu.
- **Vytváření a úprava budovy** – Repräsentace musí být dostatečně jednoduchá pro vytváření a editaci budovy.
- **Vizualizace** – Repräsentace budovy lze snadno zobrazit na displeji kiosku.

Vhodně navržená repräsentace budovy se bude skládat z elementárních bloků (představujících kvádry). Celá budova bude tedy pomyslně „vyplněna“ souborem stejně velikých bloků. Každý blok bude svými stěnami sousedit s okolními bloky. Více bloků dohromady může repräsentovat jednu místnost a více sousedících místností celá patra. Uskupení všech pater, v podstatě tvořených polem bloků, dohromady tvoří celou budovu.

Na následujícím obrázku (viz Obrázek 9) je příklad repräsentace třípatrové budovy ve tvaru položeného „U“. Počátek vyznačených souřadnic leží na zemi. Osa „z“ směřuje vzhůru (číslo podlaží). Zbylé osy „x“ a „y“ přiléhají k zemi (šířka a hloubka budovy).



Obrázek 9: Repräsentace třípatrové budovy ve tvaru „U“ pomocí elementárních bloků.

5 Implementace

Implementace navigačního systému se skládá z následujících hlavních částí:

- **Kiosek s plánovací aplikací** – Zadání požadavků na cestu a její naplánování.
- **Nav. zařízení s navigační aplikací** – Osobní zařízení pro navigaci / lokalizaci.

Nejdříve jsou popsány struktury používaných tříd, hledání optimální cesty, dále jednotlivé aplikace a způsob uložení dat v systému.

5.1 Implementace budovy

Budova je reprezentována jako třída `Building` obsahující následující informace:

- 3D matice `building` - Matice složená z instancí třídy `Block` (viz kapitola Blok5.1.1.) představující prostorovou reprezentaci budovy. Každý blok matice tedy představuje elementární část prostoru v budově a obsahuje informace o ní. Poloha bloku v matici je popsána pomocí souřadnic (`f` - podlaží, `y` - hloubka, `x` - šířka).
- Proměnná `start` - v mapě obsahuje výchozí polohu uživatele v budově. Startovní pozice se používá pro plánování cesty. Naplánovaná cesta tedy bude začínat na této startovní pozici. Tato pozice je popsána jako souřadnice bloku, ve kterém se uživatel právě nachází. Součástí pozice uživatele je i počáteční směr jeho otočení. Tato informace se využívá při navigování uživatele při cestě.

```
public class Building
{
    // Block array is 3D MATRIX, which represents building
    public Block[, ,] building;

    // Integers contain building dimensions size
    public int floors;
    public int y_size;
    public int x_size;

    // Coords of starting Block
    public (int f, int y, int x, EnumSide side) start;
```

5.1.1 Blok

Blok je základní stavební prvek reprezentace budovy. V kódu je reprezentován pomocí třídy `Block` obsahující následující informace:

- **Typ bloku** `blockType` – Bloky jsou rozděleny podle toho, co v budově reprezentují (např. podlaha, schody, výtah atd.). Tato informace slouží pro vizuální zobrazení příslušné části budovy a rovněž se používá při hledání / plánování cesty.
- **Stěny** `borders` – Blok má šest stěn. Tyto stěny nesou informaci, jak jsou od sebe sousedící bloky odděleny (např. zdi, dveře, podlahy atd.). Stěny bloku zároveň popisují možnosti průchodu do sousedících bloků (např. zeď neumožňuje projít do sousedícího bloku, ale dveře ano.), což se využívá při plánování cesty nebo při vizualizaci budovy.

5.2 Plánování cesty

Pro jednodušší pochopení je nejdříve popsána reprezentace cesty a následně algoritmus pro hledání cesty.

5.2.1 Reprezentace cesty

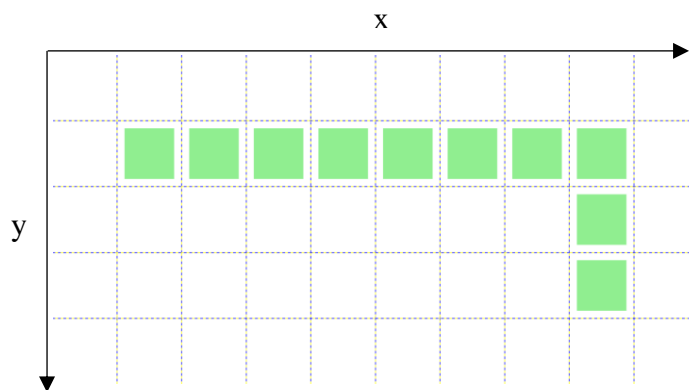
Cesta je implementována jako `List<int f, int y, int x> path`. Tento list obsahuje souřadnice všech bloků, jimiž cesta prochází. Tato reprezentace cesty je získána z algoritmu pro nalezení optimální cesty (popsáno dále) a je vhodná pro její vizualizaci.

Navigační systém rovněž pracuje s komprimovanou cestou využívanou pro přenos mezi kioskem a nav. zařízením. Komprimovaná cesta se rovněž používá pro generování povelů pro uživatele v průběhu cesty. Komprimovaná cesta je implementována jako „`List<byte> compressed_path`“. Každý byte v listu představuje jeden přímý/elementární úsek cesty a má strukturu popsanou v tabulce (viz Tabulka 1).

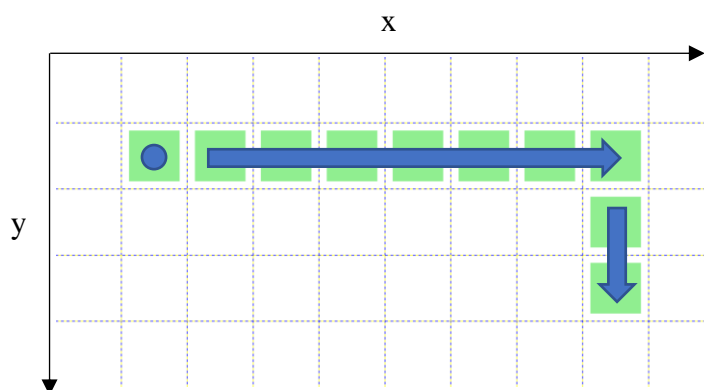
bit 0	bit 1	bit 2	bit 3	bit 4	bit 5	bit 6	bit 7
Směr segmentu				Délka segmentu v blocích			

Tabulka 1: Struktura jednoho bytu (elementární krok) v listu obsahujícím komprimovanou cestu

Rozdíl mezi dvěma způsoby uložených dat „`List<int f, int y, int x> path`“ a „`List<byte> compressed_path`“ je vysvětlený na následujícím příkladu. Cesta je zobrazena ve 2D poli bloků, což lze chápat jako jedno patro budovy. Osy souřadnic x a y jsou zobrazeny na obrázku (šířka/hloubka), souřadnice f je pro všechny bloky rovna nule (např. přízemí).



Obrázek 10: Zobrazení cesty ve 2D poli (naplánovaná cesta obsahuje seznam těchto bloků).



Obrázek 11: Zobrazení cesty ve 2D poli se vysvětlujícími obrázky (komprimovaná cesta).

Uložená informace v `List<int f, int y, int x>` path bude následující:

`((0, 2, 1), (0, 2, 2), (0, 2, 3), (0, 2, 4), (0, 2, 5), (0, 2, 6), (0, 2, 7), (0, 2, 8))`

Tento list v podstatě obsahuje absolutní souřadnice bloků, jimiž cesta prochází (viz Obrázek 10). Takto uložené souřadnice jsou jednoduše použitelné, avšak jejich paměťová náročnost je poněkud velká. Komprimovaná informace o cestě v listu `List<byte>` `compressed_path` vypadá v tomto konkrétním případě následovně:

`((01000111), (01100010))`

Tento druhý komprimovaný list popisuje cestu relativně. První položka listu popisuje modrou šipku v kladném směru osy x (010b - vpravo) dlouhou sedm bloků (00111b) a druhá položka popisuje šipku v kladném směru osy y (011b - dolů) dlouhou dva bloky (00010b) (viz Obrázek 11). Společně se znalostí startovní souřadnice (modré kolečko) lze absolutně popsat cestu stejně jako s původním seznamem. Startovní pozice není přímo uložena v listu, ale vyskytuje se ve třídě „`Building`“, případně se jako startovní pozice používá načtená souřadnice z dosažené lokalizační značky.

5.2.2 Hledání optimální cesty

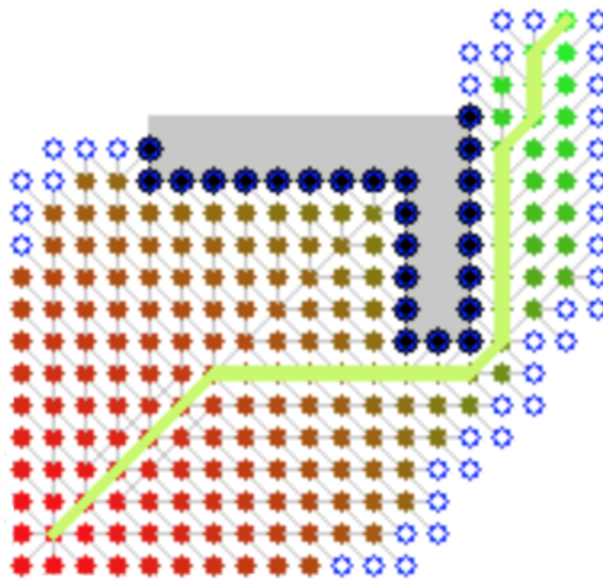
Navigační systém pro hledání optimální cesty používá algoritmus pro prohledávání stavového prostoru A^* (A star). Optimální cesta je nejkratší cesta přijatelná pro uživatele s nastaveným pohybovým omezením. Při rozhodování o přesunu do následujícího uzlu algoritmus využívá funkci

$$f(x) = g(x) + h(x)$$

Kde $g(x)$ je funkce popisující vzdálenost mezi počátečním a následujícím uzlem, $h(x)$ je heuristická funkce, v tomto případě funkce popisující reálnou vzdálenost následujícího uzlu od cílového uzlu. $f(x)$ pak popisuje prioritu daného uzlu.

V tomto případě bloky představují jednotlivé uzly. Sousedícími bloky se stávajícím blokem se rozumí všechny bloky, které svými stěnami přiléhají ke stávajícímu bloku a přiléhající stěny jsou průchozího typu (typ stěny může být např. zeď, která není průchozí a bloky tak spolu v podstatě nesousedí).

Algoritmus hledá cestu následujícím způsobem. Nejdříve si vytvoří prioritní frontu otevřených / nenavštívených uzlů. Při každém kroku algoritmus vybere uzel s nejvyšší prioritou z prioritní fronty a následně se vypočítají hodnoty $f(x)$ pro nové sousedící uzly. Nové sousedící uzly jsou poté přidány do prioritní fronty, pokud v ní ještě nebyly. Algoritmus opakuje tento krok, dokud nenalézá koncový uzel, nebo prioritní fronta není prázdná. Každý uzel si pamatuje svého předchůdce a při nalezení cílového uzlu je možné cestu poskládat.



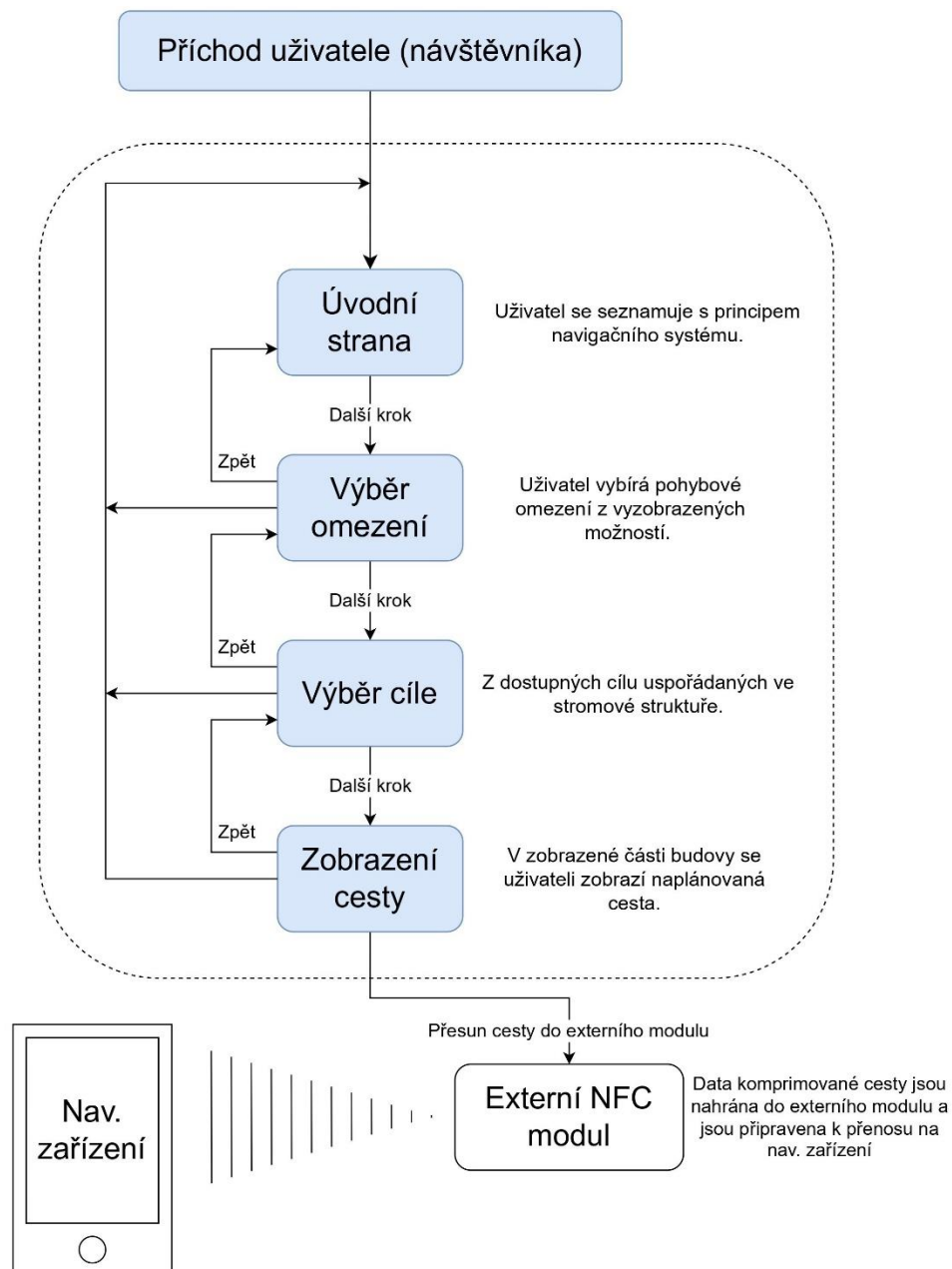
Obrázek 12: Znárodnění prohledávání A^* algoritmu. Uzly v otevřené frontě jsou vyznačeny bílou výplní, vybrané uzly jsou vyznačeny barvou ve spektru červená / zelená ilustrující hodnotu $f(x)$.

5.3 Aplikace pro kiosky

Aplikace byla vyvinuta pomocí technologie .NET Framework + WPF od firmy Microsoft. Aplikace je tedy spustitelná (pouze) na operačním systému Windows s nainstalovaným .NET Frameworkem.

5.3.1 Hlavní program

Postup využití aplikace na kiosku je znázorněn na následujícím diagramem:

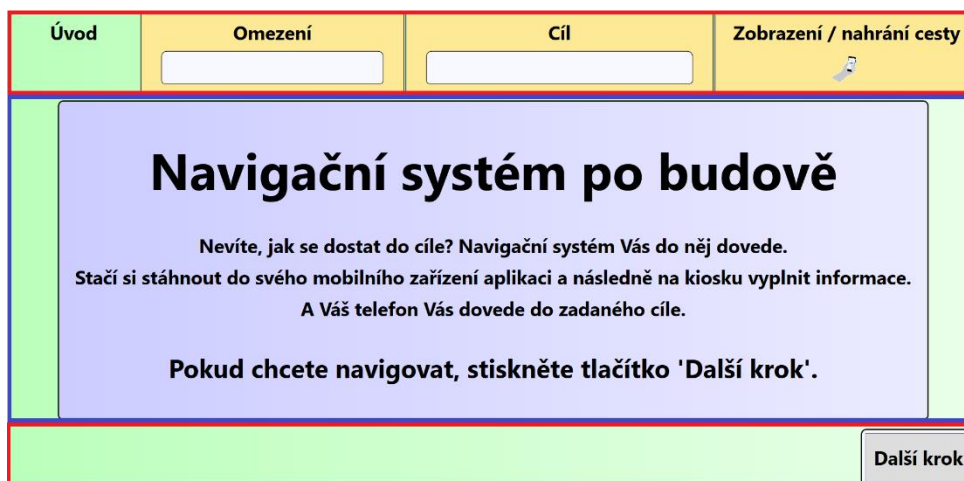


Obrázek 13: Diagram popisující postup využití aplikace na kiosku.

5.3.2 Grafické rozhraní (GUI)

Výsledné grafické rozhraní je vytvořeno podle návrhu v kapitole 4.6.1 za pomoci jazyka XAML (grafická reprezentace .NET WPF).

Po celý běh aplikace je zobrazeno hlavní okno popsané v souboru `MainWindow.xaml` (viz Obrázek 14). Červenou barvou jsou označeny části nacházející se v `MainWindow.xaml`, modrou barvou je zobrazena část, kde jsou postupně zobrazeny aktuální stránky typu `Page` popsané v jiných XAML souborech. Stránky jsou v aplikaci čtyři a to s názvy `PageUvod.xaml`, `PageOmezeni.xaml`, `PageCil.xaml` a `PageMapa.xaml`.



Obrázek 14: Základní rozložení hlavní stránky GUI aplikace na kiosku

Veškeré obrázky používané v aplikaci jsou umístěné ve složce „config/images“.

5.3.2.1 Zobrazení budovy a cesty

Při zobrazení budovy se zobrazuje vždy pouze jedno její patro. Patro budovy je zobrazeno pomocí prvku `Grid` představující mřížku s potřebnými rozměry x a y . Do každého čtverce je poté zobrazen patřičný blok pomocí prvku `Border` s vloženým obrázkem podle typu bloku. Nastavení prvku `Border` probíhá v kódu následovně:

```
// Setting thickness of visualized wall

int thickness = (int)(gridBuilding.ActualHeight /
(GlobalConstants.BORDER_THICKNESS * gridBuilding.RowDefinitions.Count()));

// Setting border properties
Border border = new Border
{
    Background = GlobalConstants.COLOR_BLOCK_BACKGROUND,
    BorderBrush = GlobalConstants.COLOR_BLOCK_BORDER_BRUSH,
    BorderThickness = new Thickness(
        (block.borders[0] == EnumBorderType.Wall) ? thickness : 0,
        (block.borders[1] == EnumBorderType.Wall) ? thickness : 0,
        (block.borders[2] == EnumBorderType.Wall) ? thickness : 0,
        (block.borders[3] == EnumBorderType.Wall) ? thickness : 0)
};
```


Cesta je zobrazena také pomocí prvků **Border**. Na poslední souřadnici, kde se nachází cíl, je místo prvku **Border** použit obrázek šipky zobrazující cílový směr natočení uživatele.

5.3.2.2 Konfigurace a zobrazení cílů

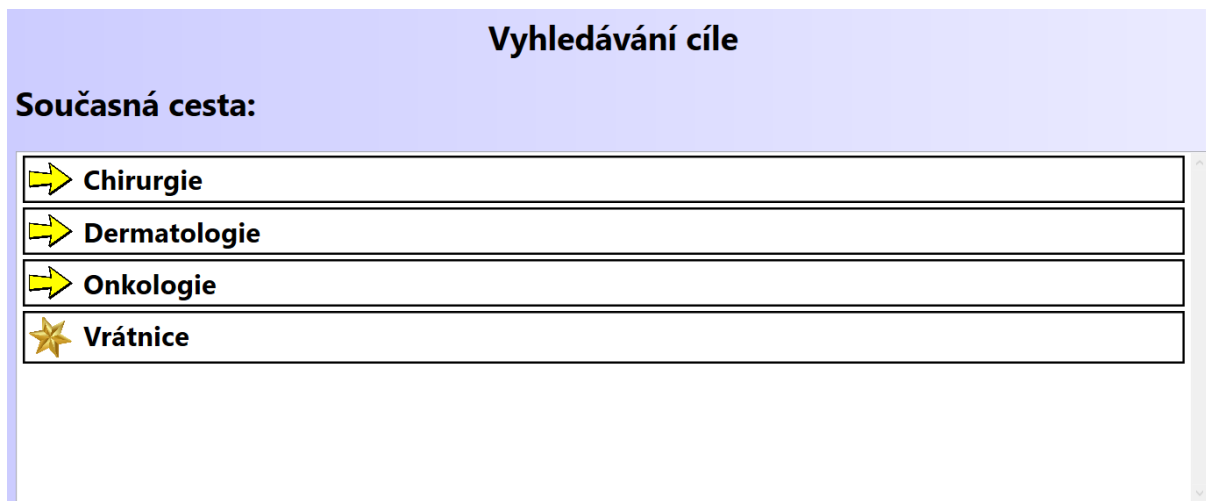
Před samotným popisem vizualizace cílů v aplikaci je potřeba nastítnit jejich způsob uložení. Informace o cílech jsou uloženy v CSV (comma-separated values) souborech. Jejich úprava je pro správce navigačního systému jednoduchá.

Cíle jsou uloženy ve stromové struktuře, kde se využívá princip hierarchie. Existuje tedy kořenový uzel popisující uzly pod sebou atd. V tomto případě je kořenový uzel CSV soubor obsahující odkazy na uzly pod sebou představující jména dalších CSV souborů. Koncové uzly nemají žádné další uzly pod sebou. Koncové uzly (v tomto případě cíle) nejsou reprezentovány jako CSV soubory, nýbrž jsou přímo popsány v daném CSV souboru.

	A	B	C	D	E
1	JMÉNO:	TYP:	JMÉNO SOUBORU:	SOUŘADNICE CÍLE (patro, y, x)(směr):	POZNÁMKA:
2	Chirurgie	soubor	chirurgie.csv		
3	Dermatologie	soubor	dermatologie.csv		
4	Onkologie	soubor	onkologie.csv		
5	Vrátnice	cíl		(0,3,5)(J)	
6	ukazka cesty	cíl		(0,3,8)(J)	

Obrázek 15: Příklad zapsaných informací v CSV souboru

Pro vizualizaci cílů v aplikaci se používá prvek **ListBox**. V tomto prvku se nejdříve zobrazí kořenový CSV soubor **main.csv**. Každý řádek v CSV souboru (krom názvů sloupců) je zobrazen jako prvek **ListBoxItem**. Při kliknutí na odkaz na CSV soubor se **ListBox** aktualizuje. Prvky ve stromové struktuře jsou graficky odlišeny symbolem, šipka znamená možnost podvýběru, tedy další CSV soubor a hvězda představuje již konečný cíl v budově.



Obrázek 16: Zobrazení informací zapsaných na předchozím obrázku.

5.3.3 Reprezentace budovy v JSON

Používaná instance třídy `Building` v navigačním systému je uložena ve formátu JSON. Při vytváření třídy objektu `Building` se volá funkce `LoadBuilding()`. Tato funkce načte soubor následujícího ve formátu:

```
{
  "f":3, "y":10, "x":10, "blocks":
  [
    {"blockType":"Empty", "borders":["Wall", "Wall", "None", "None", "Wall", "Wall", "None"]
    , "f":0, "y":3, "x":4},
    {"blockType":"Empty", "borders":["Wall", "Wall", "None", "None", "Wall", "Wall", "None"]
    , "f":0, "y":3, "x":5},
    {"blockType":"Empty", "borders":["Wall", "Wall", "None", "None", "Wall", "Wall", "None"]
    , "f":0, "y":3, "x":6},
  ],
  "start": {"Item1":0, "Item2":0, "Item3":0, "Item4":"Left"}
}
```

Příklad uložené budovy obsahuje nejdříve velikost rozměrů 3D matice. Dále popisuje všechny bloky a nakonec startovní pozici v mapě.

Veškerá uložená data instance třídy „`Building`“ jsou v aplikaci umístěná ve složce „`config/maps/XXX`“. `XXX` je identifikační číslo budovy a tedy její reprezentace.

5.3.4 Přenos dat pomocí externího NFC zařízení

Externí NFC zařízení, použité pro přenos dat z kiosku do nav. zařízení, komunikuje s kioskem přes USB rozhraní využívající VCP. Data se před přenosem uspořádají do pole a poté jsou do NFC zařízení odeslána, a to v následujícím pořadí: délka pole, identifikační číslo budovy, omezení, komprimovaná cesta a celkový kontrolní součet. Pro uspořádání dat a jejich přenos do zařízení je určena funkce „TransferDataToNFCModule()“.

```
TransferDataToNFCModule(List<byte> compressed_path)
{
    // Open 'SerialPort' (if it is not already opened)
    Utils.SerialPort.MySerialPort.Open(GlobConst.COM_NUMBER);

    // SENDING ARRAY in format:
    // | LENGTH | BUILDING ID | LIMITATION | PATH (LAST BLOCK IS GOAL) | CONTROL COUNT
    // | 1 BYTE | 2 BYTES   | 1 BYTE     | X BYTES                    | 1 BYTE
    List<byte> bufferToSend = new List<byte>();

    // Add LENGTH
    byte len = (byte)(compressed_path.Count() + 4);
    bufferToSend.Add(len);

    // Add BUILDING ID
    bufferToSend.Add(GlobConst.BUILDING_ID_ST_BYTE);
    bufferToSend.Add(GlobConst.BUILDING_ID_SC_BYTE);

    // Add LIMITATION
    bufferToSend.Add((byte)info.person);

    // Add PATH
    bufferToSend.AddRange(compressed_path);

    // Add CONTROL COUNT
    byte control_count = SumByteBuffer(bufferToSend);
    bufferToSend.Add(control_count);

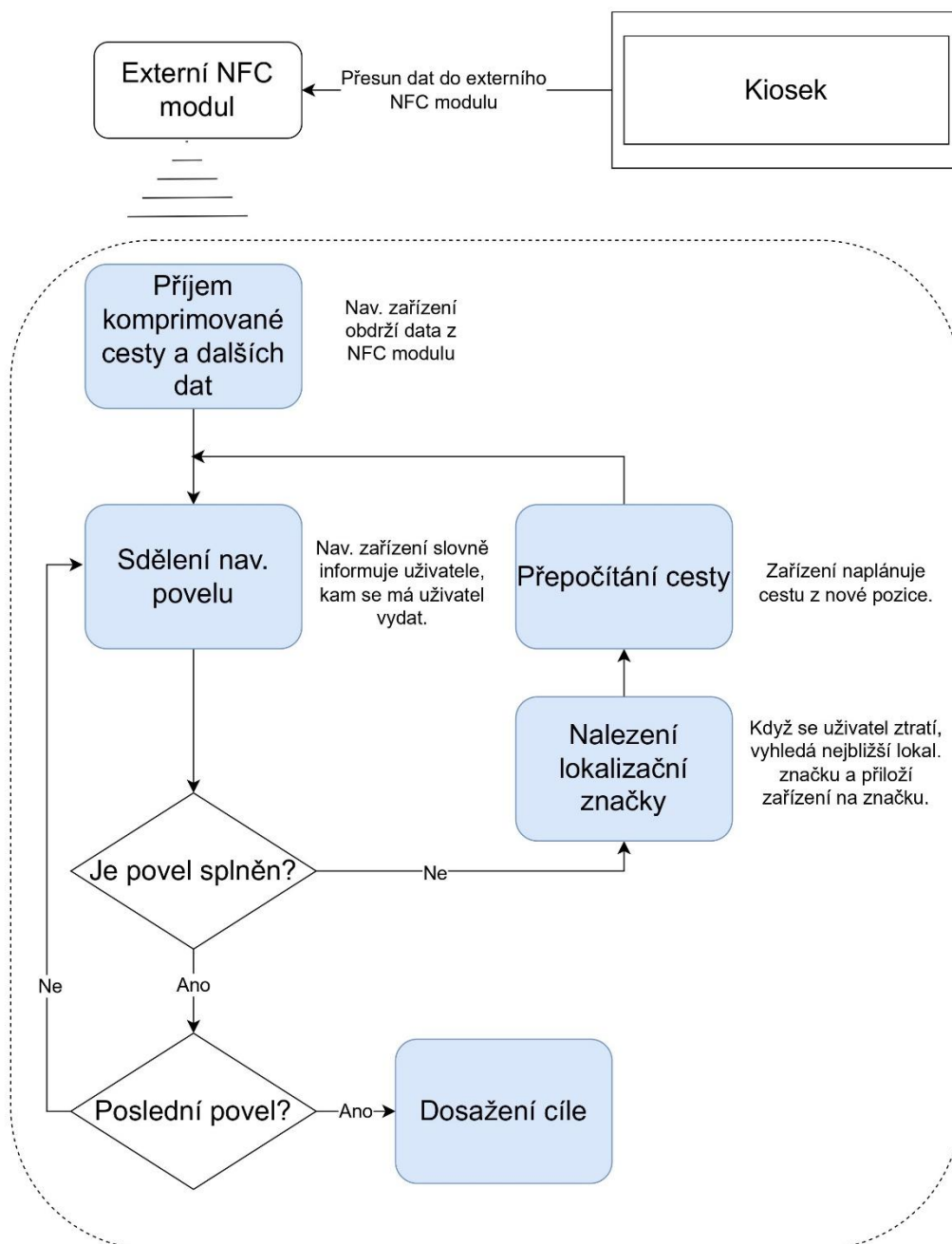
    // Sending data to extern NFC module
    if
    (!Utils.SerialPort.MySerialPort.WriteBytesAsAsciiHexPaket(bufferToSend.ToArray(),
    0, bufferToSend.ToArray().Length))
    {
        return false;
    }
    return true;
}
```

5.4 Aplikace pro navigační zařízení

Aplikace pro nav. zařízení byla vyvinuta pomocí multiplatformní technologie .NET MAUI (Multi-platform App UI), která je součástí .NET Framework od firmy Microsoft. I když je architektura multiplatformní, aplikace je v současnosti spustitelná pouze na smartphonech s operačním systémem Google/Android (pro Apple/iOS nebyla k dispozici vývojářská licence, aplikace tedy není pro tuto platformu ověřena).

5.4.1 Hlavní program

Stavy aplikace na nav. zařízení jsou znázorněny na následujícím diagramu:



Obrázek 17: Stavy aplikace na navig. zařízení a přechod mezi nimi.

5.4.2 GUI (Grafické rozhraní)

Grafické zobrazení na nav. zařízení je vytvořeno pomocí jazyka XAML. Aplikace nav. zařízení se skládá z následujících stránek:

- `MainPage.xaml` – Stránka se zobrazí po přenosu dat z kiosku do nav. zařízení. Při jejím zobrazení se z příchozích dat (komprimovaná cesta) zavolá metoda `ConvertPath2Instructions(List<byte> compressed_path)`. Zmíněná metoda převede komprimovanou cestu na seznam povelů. Nav. zařízení poskytne první povel uživateli a po stisknutí tlačítka „**Vykonal jsem**“ přejde další, dokud není vyčerpán celý seznam povelů. Na stránce je zároveň zobrazen aktuální počet splněných povelů z celkového počtu. Při ztrátě uživatel stiskne tlačítko „**Jsem ztracen**“ a aplikace čeká na příchozí data (údaje o poloze) z nejbližší lokalizační značky. Poté se v navigačním zařízení naplánuje cesta stejným způsobem jako na kiosku a opět se zavolá metoda pro vygenerování nových povelů.
- `PageMap.xaml` – Tato stránka slouží uživateli pro zobrazení cesty stejně jako na kiosku. Výsledné grafické zobrazení budovy je tedy v podstatě shodné jako v aplikaci na kiosku, avšak v tomto případě je patro budovy zobrazeno pomocí předpřipraveného obrázku vloženého na pozadí stránky. Do obrázku patra budovy je poté vizualizována cesta pomocí prvků `Grid` a `Border` opět stejným způsobem, jako je vytvořeno zobrazení na kiosku v kapitole 5.3.2.1.
- `PageSettings.xaml` – Poslední stránka slouží výhradně pro vývoj. V tomto případě byla využita pro vkládání reprezentace budovy do aplikace.

Mezi stránkami se uživatel pohybuje pomocí ovládacích tlačítek umístěných v horní části aplikace.

6 Manuál pro kiosek a nav. aplikaci

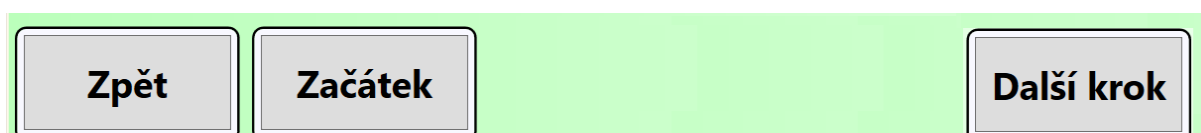
6.1 Používání aplikace na kiosku

Tato kapitola popisuje ovládání aplikace na kiosku pro uživatele navigačního systému a dále správu systému na kiosku.

6.1.1 Hlavní ovládací tlačítka

V dolní části okna aplikace jsou umístěna tlačítka používána pro přesun mezi stránkami. Tlačítka jsou následující:

- **Zpět** – Sloužící pro návrat na předchozí stránku. Na první stránce není toto tlačítko zobrazeno.
- **Na začátek** – Určeno pro nově příchozího uživatele. Toto tlačítko znovu nastaví zobrazení na úvodní stránku a odstraní vybrané omezení a cíl. Na první stránce není zobrazeno.
- **Další krok** – Sloužící pro přesun na následující stránku. Tlačítko není zobrazeno na poslední stránce.



Obrázek 18: Zobrazení hlavních ovládacích tlačítek na dolní části panelu.

V dolní části se ještě dočasně zobrazuje ovládací panel s tlačítky určenými pro ovládání konkrétní stránky.

6.1.2 Výběr cíle

Uživatel vybírá cíl pomocí tzv. průzkumníka cílů pracujícím v podstatě na stejném principu jako klasický průzkumník souborů (viz kapitola 5.3.2.2) v operačním systému. Při vyhledávání má uživatel k dispozici následující tlačítka:

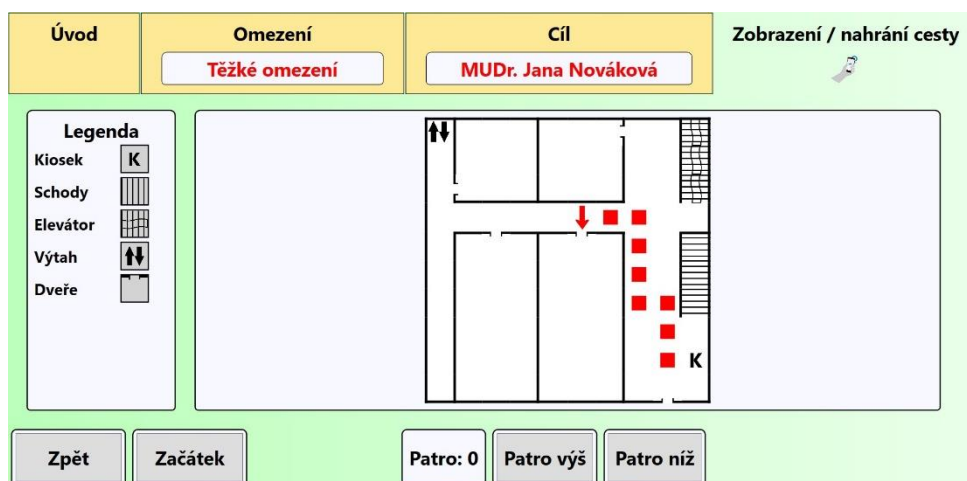
- **Šipka zpět** – Návrat do předchozí složky v průzkumníku cílů. V kořenové složce tlačítko nelze použít (protože neexistuje předchozí složka)
- **Domeček** – Slouží pro návrat do kořenové složky.



Obrázek 19: Aplikace na kiosku, tlačítka pro ovládání tzv. průzkumník cílů se nacházejí v dolní části uprostřed.

6.1.3 Zobrazení naplánované cesty

V aplikaci je vždy zobrazeno pouze jedno patro budovy. Uživatel může přepínat mezi ostatními patry budovy pomocí tlačítek **Patro výš** a **Patro níž** zobrazených ve spodní části okna aplikace. Pro jednodušší orientaci v budově je v levé části kiosku zobrazena Legenda popisující zobrazené části budovy.



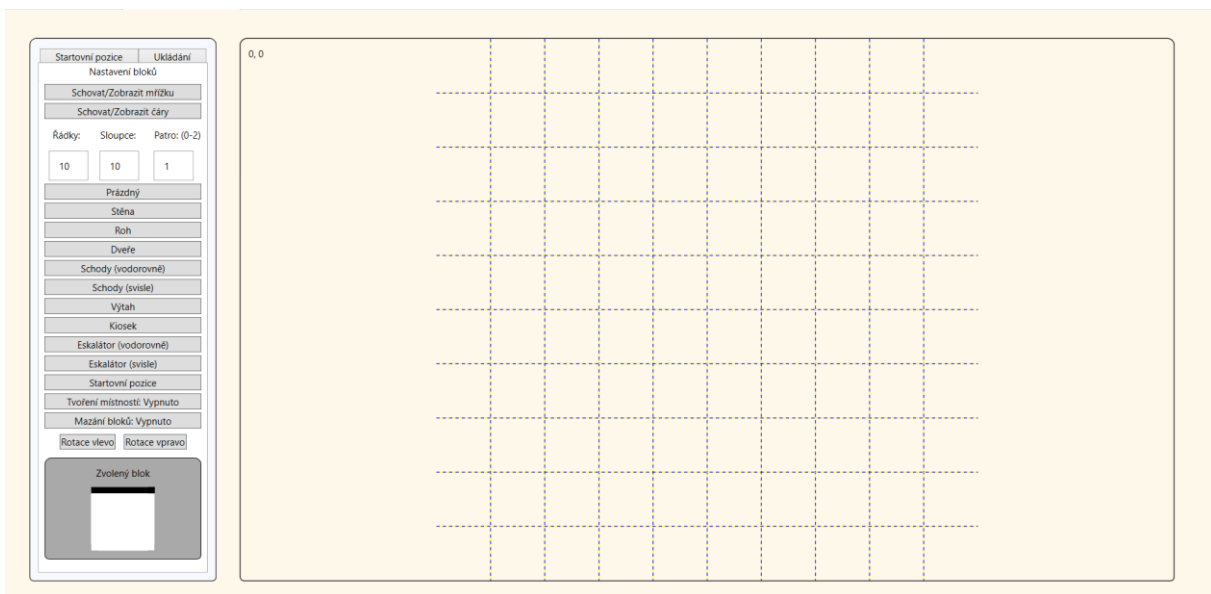
Obrázek 20: Aplikace na kiosku, tlačítka pro ovládání zobrazení cesty se nacházejí v dolní části uprostřed.

Na obrázku lze vidět jedno patro budovy a červenou barvou vyznačená naplánovaná cesta vedoucí od kiosku k cílovým dveřím.

6.1.4 Tvorba a úprava reprezentace budovy

Pro správce navigačního systému existuje možnost vytvářet a upravovat reprezentaci budovy v připraveném grafickém editoru. Grafický editor se skládá z ovládacího panelu na levé straně okna a mřížky představující vždy jedno patro budovy. Správce si zvolí určitý typ bloku a při kliknutí do místa v mřížce se blok na dané souřadnici vytvoří.

Pro tvoření skupiny bloků představující místnosti existuje speciální funkce „Tvoření místností“. Funkce vytvoří místnost pomocí dvou kliknutí do mřížky, první kliknutí určí umístění levého horního rohu a druhé kliknutí určí umístění pravého dolního rohu místnosti. Pro jednodušší vytváření reprezentace budovy si lze pod mřížku nahrát obrázek půdorysu reálné budovy a podle něj vytvořit co nejpřesnější reprezentaci budovy pro kiosky.



Obrázek 21: Aplikace na kiosku, editor mapy.

Součástí ovládacího panelu je nastavení startovní pozice uživatele a možnost uložení / otevíření reprezentace budovy pomocí JSON formátu.

6.1.5 Tvorba a úprava cílů

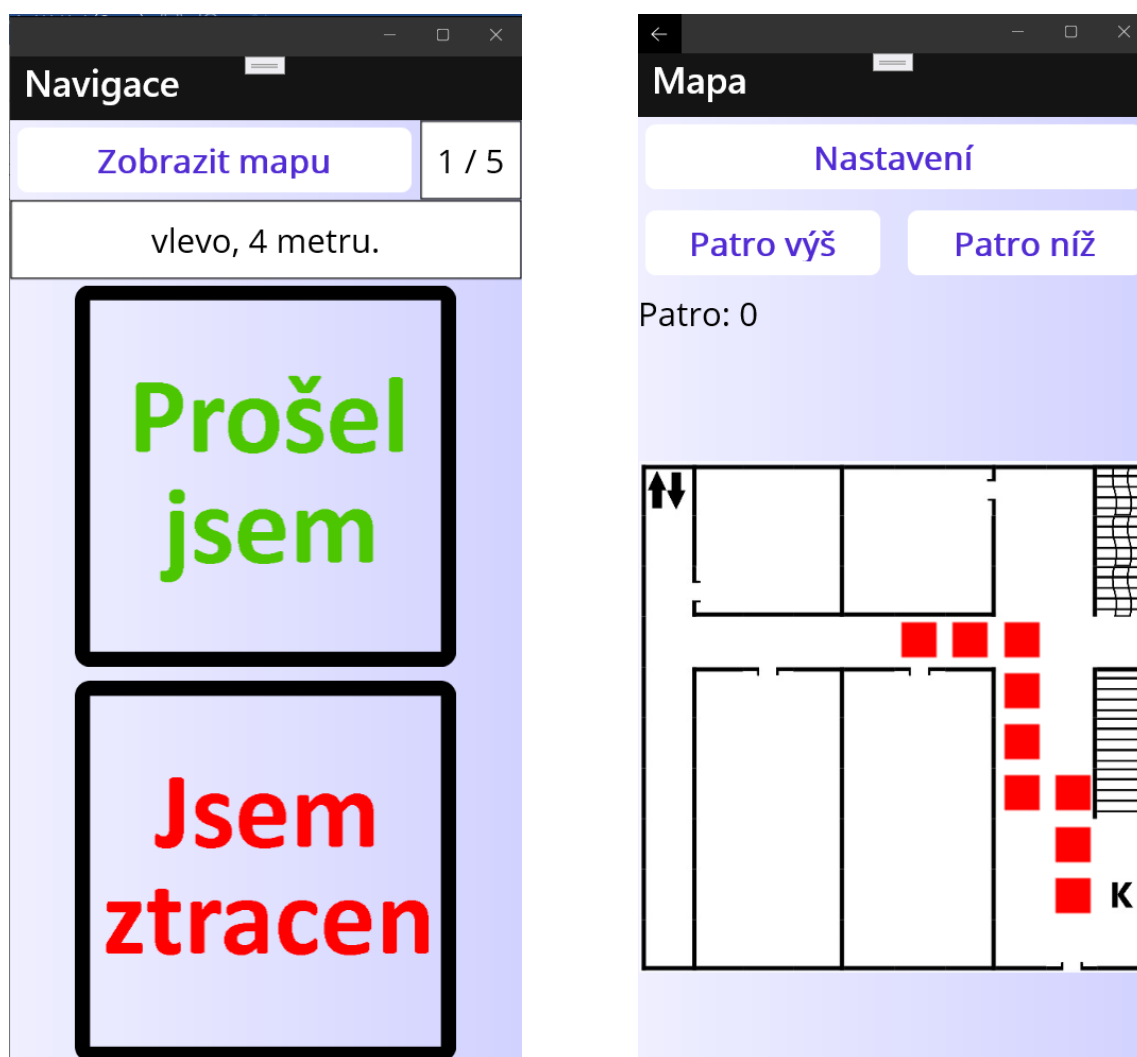
Správce systému může upravovat CSV soubory a s nimi i informace o cílech. Úpravu je nejjednodušší vykonávat v programu „Microsoft Excel“, ale CSV soubory je možné upravovat i ve velmi jednoduchém programu například „Poznámkový blok“ dostupném na každém operačním systému Windows.

6.2 Používání aplikace na navigačním zařízení

Aplikace po zapnutí nejdříve čeká na příchozí data z kiosku (externího NFC modulu) a poté se přepne do navigačního režimu. Uživateli nejdříve předá povel zobrazený na nav. zařízení a poté čeká na odpověď uživatele v podobě zmáčknutí jednoho z tlačítek **Prošel jsem** nebo **Jsem ztracen**. Při kliknutí na tlačítko **Prošel jsem** se uživateli předá nový povel. Postup při plnění povelu uživatel sleduje v pravém horním rohu. Při splnění posledního povelu navigační systém dovedl uživatele do požadovaného cíle (za předpokladu, že uživatel plnil správně povely).

Pokud se uživatel ztratí během navigování, stiskne tlačítko **Jsem ztracen**. Poté je vyzván nav. zařízením, aby našel nejbližší lokalizační značku (NFC tag) a přiložil navig. zařízení k této značce. Po přepočítání cesty a vygenerování nových povelů je uživatel znovu navigován do dříve zvoleného cíle.

Uživatel si může zobrazit patro budovy a zorientovat se při postupu na cestě. Pomocí tlačítek **Patro výš** a **Patro níž** si může opět zobrazovat různá patra budovy stejně jako v aplikaci na kiosku.



Obrázek 22: Aplikace na nav. zařízení. Vlevo je zobrazena stránka navigace, vpravo je zobrazena stránka s naplánovanou cestou.

7 Možná budoucí rozšíření

Vytvořený navigační systém je v podstatě provozu schopný a lze jej použít do rozlehlých budov. Celý systém je ovšem zatím ve fázi prvního vývoje a existuje mnoho částí, které by bylo vhodné zdokonalit před skutečným použitím.

Vytvořený navigační systém je použitelný (převážně) v pravoúhlých budovách. Naopak není vhodný pro použití v budovách s oválnými místnostmi a chodbami z důvodu blokové interní reprezentace budovy. V budoucím rozvoji se lze zaměřit na lepší aplikovatelnost systému do těchto typů budov.

Aplikace pro navigační zařízení byla otestována pouze na zařízení s operačním systémem Google / Android. Nebyla tedy ozkoušena na operačním systému Apple/iOS z důvodu absence vývojářské licence pro zařízení od firmy Apple. V budoucnosti je samozřejmě možné aplikaci odladit i pro tento operační systém.

Dalším možným vylepšením systému je jednodušší tvorba reprezentace budovy. V současnosti správce systému musí tuto reprezentaci vytvořit v připraveném základním grafickém editoru manuálně. Budoucí vývoj aplikace by se mohl zaměřit na automatické generování reprezentace budovy z dostupných výměrů půdorysů jednotlivých pater (nákrešů budovy). Automatické generování reprezentace budovy je složitější úloha a její vývoj by bylo možné zpracovat v samostatné práci.

Závěr

Cílem této práce bylo nejprve porovnat způsoby navigace / lokalizace používané ve vnitřních prostorech. Následně navrhnout vlastní navigační systém s vlastnostmi, které řeší nedostatky současných systémů. V posledním kroku navržený systém experimentálně vyvinout.

Práce se nejdříve zabývá současnými možnostmi navigace / lokalizace v budovách a popisuje jejich výhody a nevýhody. Dále byl představen návrh navigačního systému využívající NFC technologii k lokalizaci. Nakonec je v práci popsána výsledná implementace navigačního systému a popis jeho užívání.

Výsledný navigační systém je v současnosti sice provozu schopný, je ale pouze v první fázi svého vývoje. Jeho hlavní výhodou je robustní lokalizace a nízká náročnost na údržbu. Pro reálné využití je potřeba ještě jeho vylepšení. Systém je momentálně vhodný zejména do pravoúhlých budov, což může být omezující pro mnoho rozlehlých např. oválných budov, kde by navigační systém mohl být jinak použitelný.

I když se nejedná o zcela ucelený systém a jeho implementaci, tak zde uvedené návrhy a části mohou být velmi vhodnými stavebními kameny pro tvorbu skutečně komplexního navigačního a lokalizačního systému.

Reference

- [1] MAUTZ, Rainer. Indoor positioning technologies. Zurich, 2012. Habilitační práce. ETH Zurich.
- [2] DENG, Zhi-An; WANG, Guofeng; QIN, Danyang; NA, Zhenyu; CUI, Yang; CHEN, Juan. Continuous Indoor Positioning Fusing WiFi, Smartphone Sensors and Landmarks. *Sensors*. roč. 16, č. 9, str.1427 – 1447. ISSN 1424-8220.
- [3] WENZHONG, Shi; GOODCHILD, Michael, BATTY, Michael, KWAN, Mei-Po; ZHANG, Anshu. Urban Informatics [online]. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2021 [cit. 15. 4. 2023] Dostupné z: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-15-8983-6>
- [4] BAHL, Paramvir; PADMANABHA, Venkata. RADAR: *an in-building RF-based user location and tracking system*. In: Proceedings of INFOCOM 2000, nineteenth annual joint conference of the IEEE computer and communications societies. Tel Aviv, Israel: IEEE, 2000, str. 775 - 785. ISBN 0-7803-5880-5.
- [5] ZAFARI, Faheem; PAPAPANAGIOTOU, Ioannis; CHRISTIDIS, Konstantinos. Micro-location for internet of things equipped smart buildings. *IEEE Internet of Things Journal*. roč. 1 (2016), č. 3, str. 96 – 112 . ISSN 2327-4662.
- [5] ROSENBERG, Martin; MERTLÍK, Tomáš. *Aplikace na přenos dat pomocí NFC*. Elektrotechnika. roč. 15, č. 6, str. 427 – 435. ISSN 1213-1539.
- [7] Průcha, Martin. *Navigace v budovách*. Praha, 2016. Bakalářská práce. ČVUT, Fakulta Elektrotechnická. Katedra kybernetiky.
- [8] Kotva, Pavel. *Lokalizace a navigace uvnitř budov*. Plzeň. 2017. Západočeská univerzita, Katedra informatiky a výpočetní techniky.
- [9] IGOE, Tom; COLEMAN, Don; JEPSON, Brian. *Beginning NFC*. Ed. 1. Sebastopol, California: O'REILLY MEDIA, 2013. ISBN 978-1-449-37206-4.
- [10] LESAS, Anne-Marie; MIRANDA, Serge. *The Art and Science of NFC*, č. ed. 3, ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc 2017. ISBN 978-1-78630-057-7.
- [11] NATHAN, Adam. *WPF 4.5 unleashed*. Indianapolis, Ind.: Sams, [2014]. Unleashed. ISBN 978-0672336973.
- [12]. GOLDMAN, Matt. *.NET MAUI in action*. Sebastopol, California: O'REILLY MEDIA, 2023. ISBN 9781633439405
- [13] CHOWDHURY, Kunal. *Windows Presentation Foundation Cookbook*. Birmingham, United Kingdom PACKT Publishing Limited, 2018. ISBN 978-1788399807

Seznam použitých zkratk

GPS	Global Positioning System
NFC	Near Field Communication
WPF	Windows Presentation Foundation
XAML	Extensible Application Markup Language
MAUI	Multi-platform App UI
JSON	JavaScript Object Notation
GUI	Graphic User Interface
USB	Universal Serial Bus
VCP	Voluntary Correction Program

Seznam obrázků

Obrázek 1:Příklad některých typů využívaných optických tagů.....	2
Obrázek 2: Ukázky současného systému v budovách.....	5
Obrázek 3:NFC tag, Vlevo vnitřní struktura, vpravo samolepící tag.....	13
Obrázek 4 Návrh navigačního systému, Varianta A, úvodní strana	15
Obrázek 5: Návrh navigačního systému, Varianta A, výběr pohybového omezení	15
Obrázek 6: Návrh navigačního systému, Varianta A, výběr cíle	16
Obrázek 7: Návrh navigačního systému, Varianta A, zobrazení cesty	16
Obrázek 8: Návrh navigačního systému, Varianta B	17
Obrázek 9: Reprezentace třípatrové budovy ve tvaru „U“	18
Obrázek 10: Zobrazení cesty ve 2D poli.....	21
Obrázek 11: Zobrazení cesty ve 2D poli se vysvětlujícími obrázky.....	21
Obrázek 12: Znázornění prohledávání A* algoritmu.....	22
Obrázek 13: Diagram popisující postup využití aplikace na kiosku.....	23
Obrázek 14:Základní rozložení hlavní stránky GUI aplikace na kiosku	24
Obrázek 15: Příklad zapsaných informací v CSV souboru.....	25
Obrázek 16: Zobrazení informací zapsaných na předchozím obrázku.	25
Obrázek 17: Stavy aplikace na navig. zařízení a přechod mezi nimi.....	28
Obrázek 18: Zobrazení hlavních ovládacích tlačítek na dolní části panelu.	30
Obrázek 19: Aplikace na kiosku,	31

Obrázek 20: Aplikace na kiosku, tlačítka pro ovládání zobrazení cesty se nacházejí v dolní části uprostřed.	31
Obrázek 21: Aplikace na kiosku, editor mapy.	32
Obrázek 22: Aplikace na nav. zařízení. Vlevo je zobrazena navigace, vpravo je zobrazena naplánovaná cesta.	33

Přílohy

Program na kiosek – dostupný na webových stránkách <https://dspace.cvut.cz/>.