

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních
technologií

Bakalářská Práce

Brno, 2024

Martin Šmelka



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

VÝVOJ SYSTÉMU PRO DETEKCI POZEMNÍCH MIN

DEVELOPMENT OF SYSTEM FOR LANDMINE DETECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Šmelka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Doležal

BRNO 2024

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Elektronika a komunikační technologie**

Ústav radioelektroniky

Student: Martin Šmelka

ID: 227234

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Vývoj systému pro detekci pozemních min

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou a významem detekce pozemních min. Zpracujte rešerši v současnosti používaných metod a zařízení pro detekci pozemních min. V dalším kroku navrhnete několik vlastních algoritmů pro automaticky řízenou detekci pozemních min. Zaměřte se na reálné scénáře - skenování území, čistý průjezd konvoje z bodu A do B přes dané území apod.. K těmto účelům použijte MATLAB. Vytvořené algoritmy prezentujte pomocí GUI.

Vytvořené algoritmy implementujte v praxi pomocí pojízdné stavebnice robota a vhodného mikrokontroléru. Na závěr proveďte jednoduché vyhodnocení úspěšnosti detekce pro jednotlivé algoritmy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] ZUBAIR, Muhammad a Mohammad Ahmad CHOUDHRY. Land Mine Detecting Robot Capable of Path Planning. In: 2010 Second World Congress on Software Engineering [online]. IEEE, 2010, 2010, s. 34-37 [cit. 2023-05-18]. ISBN 978-1-4244-9287-9. Dostupné z: doi:10.1109/WCSE.2010.34
- [2] AOYAMA, Hajime, Kazuyoshi ISHIKAWA, Junya SEKI, Mitsuo OKAMURA, Saori ISHIMURA a Yuichi SATSUMI. Development of Mine Detection Robot System. International Journal of Advanced Robotic Systems [online]. 2007, 4(2) [cit. 2023-05-18]. ISSN 1729-8814. Dostupné z: doi:10.5772/5693
- [3] MANOHARAN, Premkumar. UNMANNED MULTI-FUNCTIONAL ROBOT USING ZIGBEE ADOPTER NETWORK FOR DEFENSE APPLICATION. International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET). 2013, 2(1). ISSN 2278-1323.

Termín zadání: 16.2.2024

Termín odevzdání: 27.5.2024

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Doležal

doc. Ing. Lucie Hudcová, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh a sestavení demonstrátoru systému určeného pro nalezení objektů, které reprezentují skryté miny v poli. V první fázi bude navržen základ systému pro simulaci chování konečného zařízení pomocí rozhraní MATLAB. Navržený kód vytvoří GUI, které bude simulovat systém v poli. Po nalezení miny bude příslušné políčko označeno a jeho lokace bude naznačena operátorovi. Následně bude navržen dizajn demonstrátoru a sestaven funkční prototyp pro ověření funkčnosti návrhu.

Klíčová slova

Detekce kovu, lokalizace, podzemní miny, automatizace, robotika, Arduino, MATLAB

Abstract

The Bachelor's thesis will cover a proposal for the construction of a demonstration system designed to discover objects that represent hidden „mines“ in a field. In the first phase, a system will be designed to simulate the behaviour of the final device using the MATLAB interface. The proposed code will generate a GUI that will simulate the system in the field. After discovering a mine, the assigned cell will be marked, and the location will be signalled to the operator. Afterwards, the design of the demonstrator will be conceptualised and a working prototype fabricated to verify the functionality of the proposal.

Keywords

Metal Detection, localization, landmines, automatization, robotics, Arduino, MATLAB

Bibliografická citace

ŠMELKA, Martin. *Vývoj systému pro detekci pozemních min* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-26]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/159047>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce Tomáš Doležal.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Martin Šmelka*

VUT ID studenta: *227234*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2023/24*

Téma závěrečné práce: *VÝVOJ DEMONSTRÁTORU SYSTÉMU PRO DETEKCI POZEMNÍCH MIN*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 27. května 2024

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce : Ing. Tomáš Doležalovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: 27. května 2024

podpis autora

Obsah

1.	ÚVOD	12
2.	TEORIE AUTOMATIZOVANÝCH SYSTÉMŮ PRO DETEKCI MIN	13
2.1	SOUČASNÉ VYUŽITÍ DRONŮ, PODZEMÍ.....	13
2.2	KONFIGURACE DRONŮ, POZEMNÍ.....	14
2.2.1	<i>Tankové Pásky</i>	14
2.2.2	<i>Omnidirectional wheels</i>	15
2.2.3	<i>4-wheel</i>	15
2.3	NOSNÁ PLATFORMA.....	16
2.3.1	<i>Rám</i>	16
2.3.2	<i>Řídicí jednotka</i>	17
2.3.3	<i>Senzory</i>	17
2.3.4	<i>Pohonné systémy</i>	19
2.3.5	<i>Regulátory otáček motorů</i>	20
2.3.6	<i>Napájení systémů</i>	21
2.3.7	<i>Systém pro výměnu dat</i>	21
2.3.8	<i>Systém pro detekci překážek</i>	21
2.4	SIMULACE V PROSTŘEDÍ MATLAB.....	23
2.4.1	<i>Modelování, simulace a prototypování</i>	24
2.4.2	<i>Vývoj aplikace a GUI</i>	24
2.5	MODEL CHOVÁNÍ DEMONSTRAČNÍCH SYSTÉMŮ.....	25
2.5.1	<i>Pohyb po dráze ve tvaru spirály</i>	25
2.5.2	<i>Sloupcový průzkum</i>	26
2.5.3	<i>Kopírování definované trasy</i>	27
3.	PRAKTICKÁ ČÁST	28
3.1	ANALÝZA PROBLÉMU.....	28
3.2	CÍL PRÁCE.....	29
3.3	MODELOVÁNÍ CHOVÁNÍ DEMONSTRÁTORU V DIGITÁLNÍM PROSTŘEDÍ A ANALÝZA TESTOVANÝCH METODIK.....	30
3.3.1	<i>Pohyb po dráze ve tvaru spirály</i>	30
3.3.2	<i>Sloupcový průzkum</i>	31
3.3.3	<i>Kopírování definované trasy</i>	32
3.3.4	<i>Architektura GUI</i>	33
3.3.5	<i>Pohyb po dráze ve tvaru spirály</i>	34
3.3.6	<i>Sloupcový průzkum</i>	36
3.3.7	<i>Kopírování definované trasy</i>	37
3.3.8	<i>Výsledky simulací</i>	40
4.	NÁVRH PROTOTYPU	42
4.1	VÝBĚR NOSNÉ PLATFORMY A KONTROLNÍCH PRVKŮ.....	42
4.1.1	<i>Vývojová deska Arduino UNO</i>	42
4.1.2	<i>Vývojová deska Arduino NANO</i>	43
4.1.3	<i>Arduino Sensor Shield v5</i>	43

4.1.4	<i>Regulátor Motorů LN298N</i>	44
4.2	VÝBĚR DETEKČNÍCH PRVKŮ	45
4.2.1	<i>Ultrazvukový senzor HC-SRO4</i>	45
4.2.2	<i>Modul pro sledování čar KY-033</i>	46
4.3	VÝBĚR POHONNÝCH PRVKŮ A NAPÁJENÍ	47
4.3.1	<i>DC motor pro pohyb platformy MOT235</i>	47
4.3.2	<i>Servomotor pro pohyb senzoru pro vyhnutí se překážkám SG90</i>	48
4.3.3	<i>Li-ion baterie 18650</i>	49
4.3.4	<i>Infračervený přijímač VS1838</i>	49
4.4	DETEKTOR KOVU	50
4.5	PROGRAMOVÁNÍ DEMONSTRÁTORU	52
4.5.1	<i>Pohyb po trajektorii a vyhnutí se překážkám</i>	52
4.5.2	<i>Dálkové ovládání</i>	53
4.6	VÝSLEDKY PRAKTICKÉHO TESTOVÁNÍ	53
4.6.1	<i>Test Detektoru kovu</i>	53
4.6.2	<i>Test Pohybu demonstrátoru</i>	54
4.6.3	<i>Pohyb po dráze ve tvaru spirály bez překážky</i>	54
4.6.4	<i>Pohyb po dráze ve tvaru spirály s překážkou</i>	55
4.6.5	<i>Sloupcový průzkum bez překážky</i>	55
4.6.6	<i>Sloupcový průzkum bez překážky</i>	56
4.6.7	<i>Kopírování definované trasy</i>	56
4.6.8	<i>Kopírování definované trasy s překážkou</i>	57
4.7	TEST FUNKCE KOMPLETNÍHO SYSTÉMU	57
4.7.1	<i>Kopírování definované trasy s hledanými cíli</i>	57
4.7.2	<i>Ovládání pomocí IR ovladače</i>	58
4.8	SOUHRN VÝSLEDKŮ	58
5.	ZÁVĚR	60

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1: Příklad Konfigurace Pásů Multi-Chassis Tracked Robot[5]	14
Obrázek 2.2: Příklad Konfigurace Omnidirectional Wheels[6]	15
Obrázek 2.3: Příklad Konfigurace 4-Wheels[7].....	16
Obrázek 2.4: Pinout Desky Arudino UNO.[9].....	17
Obrázek 2.5: Rozdělení detekce podle detekované látky.....	18
Obrázek 2.6: Deska modulu vysílače Bluetooth HC-05.[8].....	21
Obrázek 2.7:Ultrazvukový senzor HC-SRO4.[14]	22
Obrázek 2.8:Funkce ultrazvukového senzoru.[14]	22
Obrázek 2.9: Rozhraní App Designer	24
Obrázek 2.10: Trasa pohybu systému podle spirály v poli buněk.....	26
Obrázek 2.11: Trasy pohybu systému podle sloupců v poli buněk.....	26
Obrázek 2.12: Trasa pohybu systému podle definované trasy.....	27
Obrázek 3.1: Vývojový diagram pohybu systému podle spirály v poli buněk.	31
Obrázek 3.2: Vývojový diagram pohybu systému po sloupcích.....	32
Obrázek 3.3: Vývojový diagram pohybu systému po definované trajektorie v poli buněk	33
Obrázek 3.4: Diagram architektury GUI aplikace	34
Obrázek 3.5: Počáteční stav simulace 1.....	34
Obrázek 3.6: Středový stav simulace 1.....	35
Obrázek 3.7: Koneční stav simulace 1.....	35
Obrázek 3.8: Počáteční stav simulace 2.....	36
Obrázek 3.9: Středový stav simulace 2.....	36
Obrázek 3.10: Koneční stav simulace 2.....	37
Obrázek 3.11: Počáteční stav simulace 3 typu 1.....	38
Obrázek 3.12: Středový stav simulace 3 typu 1.....	38
Obrázek 3.13: Koneční stav simulace 3 typu 1.....	39
Obrázek 3.14: Hlavní panel GUI	39
Obrázek 3.15: Ovládací panel simulace.....	40
Obrázek 4.1: Vozidlo značky Elegoo[7].....	42
Obrázek 4.2: Arduino UNO pinout.[17]	43
Obrázek 4.3: Pin out Arduino Sensor Shield v5[20].....	44
Obrázek 4.4: Ultrazvukový senzor HC-SRO4.[14]	45
Obrázek 4.5:Infračervený senzor KY-033.[24]	47
Obrázek 4.6:DC Motor MOT235.[26]	48
Obrázek 4.7: Servomotor SG90.[29]	49
Obrázek 4.8: Funkce IR senzoru.[31]	50
Obrázek 4.9: Princip funkce	51
Obrázek 4.10: Schéma detektoru	52
Obrázek 4.11: Trasa testu podle spirály v poli buněk	54
Obrázek 4.12: Trasa testu systému s překážkou.	55
Obrázek 4.13: Trasa testu podle sloupců v poli buněk.	55
Obrázek 4.14: Trasa testu podle sloupců v poli buněk s překážkou.	56
Obrázek 4.15: Trasa testu definované trasy.....	56
Obrázek 4.16: Trasa testu definované trasy.....	57

Obrázek 4.17: Trasa testu definované trasy pro finální test58

SEZNAM TABULEK

1.1 Porovnání mezi různými elektronickými senzory	19
---	----

1. ÚVOD

Výbušné nášlapné mini představují jeden z nejčastějších problémů pro obyvatele, žijící v konfliktních oblastech. Ozbrojené síly byly mezi prvními organizacemi, které nasadili stroje a specialisty pro překonání této hrozby, ale v posledních letech je začalo využívat i mnoho civilních organizací. Práce s výbušnými zařízeními nese mnohá rizika spojená s procesem detekce a zneškodnění těchto zařízení v poli. Počátkem řešení těchto problémů bylo vyslání ženistů do zaminovaných oblastí, kteří provedli eliminaci hrozeb ručně. Rozvoj digitálních technologií změnil tuto roli a v moderní době je k dispozici ve většině ozbrojených sil a civilních organizací velké množství autonomních nebo dálkově ovládaných systému pro řešení této problematiky. Hledané zařízení skoro universálně obsahují kovové součástky nebo výbušný materiál, který jsou autonomní systémy schopné detekovat.

Požadavek po efektivních bezpilotních řešení pro eliminaci těchto hrozeb není nový. Mnohé firmy, národní instituce a ozbrojené síly vyvíjejí a nebo vyrábějí systémy pro právě tento účel. Příkladem by byl odminovací komplet Božena 4 a 5, který byl vytvořený Slovenskou firmou WAY INDUSTRIES, a.s. Tento systém je dálkově ovládaný a poměrně velký. Využívá tradiční formu odminování pomocí mechanického odminovacího pásu.[1] Poznatky z probíhajících konfliktů(Ukrajina, Israel, atd.) značí na značnou nedostatečnost a taktickou nepružnost nadrozměrných zařízení, jako je právě komplet Božena a prokazují růst v odvětví využití komerčních dronů. Menší, jednodušších a hlavně levnějších zařízení v moderní bojové sféře, kde budou tyto hrozby nejčastější, prokazují vysokou efektivitu. Menší velikost a komplexita je výhodná hlavně pro humanitární instituce v zónách po konfliktech s množstvím UXO(Unexploded Ordnance – Nevybuchnutá munice). Nižší cena a komplexita zvýší dostupnost tohoto druhu systému hlavně pro tyto civilní organizace.

Cílem této práce je vytvořit malý, nízkonákladový systém pro demonstraci funkce zmíněných systémů. Tento systém bude procházet vyznačenou zónu, v které je očekávaný výskyt hledaných objektů symbolizujících miny nebo improvizované výbušné zařízení, které detekuje a pak označí pro operátora vizuálním nebo zvukovým signálem, který pak dále rozhodne jak učinit s odhaleným objektem.

2. TEORIE AUTOMATIZOVANÝCH SYSTÉMŮ PRO DETEKCI MIN

2.1 Současné využití dronů, podzemí

Na rozdíl od letecký dronů, pozemní drony mají rozsáhlou historii v odvětví prací s nevybuchlou municí. Odjakživa práce ženistu s nevybuchlou municí byla nebezpečná a proto se tato práce automatizovala a lidský prvek se distancoval. Například německé stroje „Goliáš“ schopné odpálit municí na dálku, nebo nejmodernějších Multikoptéri Mistral HOUND, princip jejich operace zůstává stejný.[2]

Práce s nevybuchlou municí má dva možné směry: detekce nebo eliminace. Prvním způsobem by byla eliminace minového pole pomocí hrubé síly. Tento přístup je i v dnešní době asi nejčastějším. Minové pole se už od doby První světové války eliminují mechanicky pomocí flexibilních kladiv na obrněném, často pásovém vozidle. Moderní příklady jsou často plně automatizované nebo ovládané na dálku operátorem za kontrolní konzolí. Příklady tohoto přístupu jsou stroje série Božena od WAY industries a.s. Tyto stroje jsou schopné plně autonomního režimu operace nebo režimu operace pod kontrolou lidského operátora.[1] Další možností je využití flexibilní trubice plněné výbušným materiálem, která je vystřelená pomocí rakety na místo potenciálního výskytu min a jiných hrozeb. Takzvaný „Mick-Lick“ neboli Mine-clearing line charge, je momentálně nejefektivnějším způsobem eliminace min a vytvoření bezpečného koridoru přes minové pole. Příkladem je Americký systém M58 Mine Clearing Line Charge (MICLIC).[3]

Navrhovaný systém se bude zabývat druhou metodou a to s detekcí a následným označením místa s možným nebezpečenstvím. Principiálně funkce bude podobná systému Mistral HOUND[2], pomocí detekce rozdílu vodivosti v okolí systému. Tímto aktem systém vytvoří bezpečnou „cestu“ skrz specifikované pole, nebo umožní operátorovi efektivně zneškodnit hrozby v cestě. Navrhované zařízení bude muset být dost kompaktní aby bylo efektivní pro plnou automatizaci a možné použití ve větším počtu.

2.2 Konfigurace dronů, pozemní

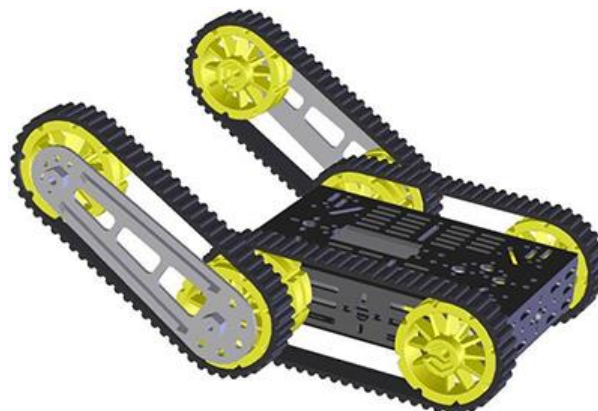
Pozemní drony se dají navrhovat v různých konfiguracích a tvarech, které záleží na cílovém využití konkrétního stroje. Nejobvykleji se vyskytujícími konfiguracemi jsou:

- Tank treads(tankové pásy)
- 4-Wheel
- Omnidirectional Wheels(všesměrné kola)

Každá varianta bude podrobněji rozebrána.

2.2.1 Tankové Pásy

Nejednodušší systém pro naši aplikaci. Funkce tankových pásů by nám zajistila schopnost operace v velkém množství terénu a překročení množství překážek. Tato konfigurace je taky v hojném využití při armádních dronech pro právě tyto důvody. Předchozí znalost a tradiční přístup hnacího systému by dodala našemu systému dostatečnou výhodu oproti alternativním řešením. Systém by byl sestaven z jednoho nebo více páru pásů. Konfigurace pásů by dodala našemu dronu schopnost otočit se na místě pomocí neutrální otočky. Při konfiguraci s více pásů by byla a značná redundance hnací soupravy, což by bylo výhodnou schopností pro systém, který bude očekávat střet s výbušnými zařízeními. Alternativní konfigurací dvou páru pásů by byl „Multi-Chassis Tracked Robot“, pomocí dvou artikulovatelných pásů může zdat i nejnáročnější terén, názorná demonstrace v obrázku 2.1. Nevýhodou provedení by byla značně vyšší cena a komplexita oproti tradičnímu kolovému provedení hnací soupravy systému a vyšší tlak soupravy na jízdnou plochu, který způsobuje vyšší šanci odpálení hledané munice.[4]



Obrázek 2.1: Příklad Konfigurace Pásů Multi-Chassis Tracked Robot[5]

2.2.2 Omnidirectional wheels

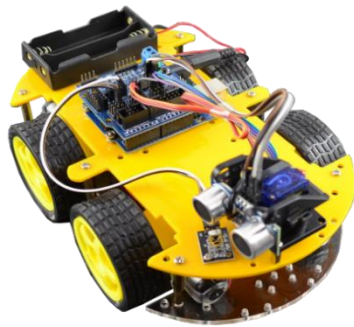
Omnidirectional wheels neboli „všesměrné kola“ je konfigurace, při které si využívají speciálně vytvořené kola s vroubkou, které umožní neutrální otočku jak při pásové implementaci. Možné konfigurace jsou totožné s klasickým kolovým systémem, s přidaným bonusem neutrální otočky. Sdílejí taky problémy s navigací komplexního terénu a překážek, s přidaným bonusem, který vyplývá z netradiční konstrukce kol, který jim dává menší výhodu v komplexním terénu. Znázorněno na obrázku 2.2.



Obrázek 2.2: Příklad Konfigurace Omnidirectional Wheels[6]

2.2.3 4-wheel

System čtyř kol neboli „4-wheel“ je jeden z nejčastějších provedení hnací soupravy pro pozemní drony z důvodu jednoduchosti výroby, provedení a implementace. Jde o instalaci čtyř kol na karosérii dronu v různé konfiguraci. Nejčastěji jde o standardní konfiguraci kol směřujících stejným směrem, rovinně rozložených za sebou. Nevýhodou tohoto provedení je poměrně nemotorná schopnost manévrovat v prostoru a velký rádius otočky, při jednom kontrolním páru. Efektivnější variantou je využití dvou páru kol které se umístí s devadesát stupňovým úhlem mezi sebou. Toto umožní schopnost otočky na místě a „jízdu bokem“ kdy se aktivuje jen jeden pár kol. Oproti pásové implementaci kola mají horší schopnost zdolat náročný terén a překážky, co negativně ovlivní schopnost systému navigovat operační zónu. Nejčastější příklad konfigurace na obrázku 2.3. Jednoduchost a rozšířenost této konfigurace je vhodná pro účely této práce a proto naše zařízení bude využívat tuto konfiguraci. Proto další kapitoly budou využívat tuto implementaci.[4]



Obrázek 2.3: Příklad Konfigurace 4-Wheels[7]

2.3 Nosná platforma

Nosnou platformou pro plánovaný systém bude pozemní dron sestavený metodou „stavebnice“ z komerčně dostupných nebo lehce fabrikovaných součástí:

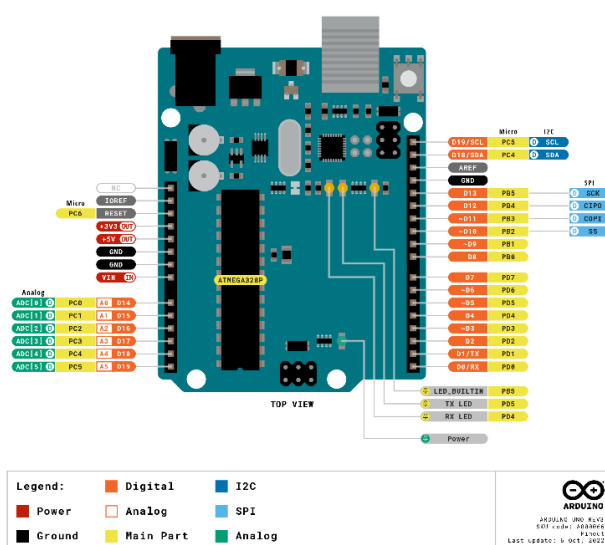
- Rám
- Řídicí jednotka
- Senzory
- Motory
- Regulátor Motorů
- Kola
- Baterie
- Systém pro výměnu dat

2.3.1 Rám

Karoserie dronu bude pozůstat z rámu, který bude mít za úkol nést všechny součástky: Baterie, Motory, Regulátory, Senzory a kontrolní moduly. Důležitá bude volba konfigurace rámu podle potřeby uživatele. Dizajn systému bude umožňovat svobodu možných modifikací systému operátorem. Variabilní počet kol a jejich geometrie.[8] Možnost různého rozestavení antén senzorů. Důležitý bude i materiál, z kterého bude dron sestaven. Nemetallické součástky budou preferovány nad metalickými z důvodu nižší hmotnosti. Nejvýhodnější metodou bude 3D tisk součástí rámu nebo tisk rámu v celku.

2.3.2 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka je součástka, která bude mít za úlohu ovládat a koordinovat ostatní součástky, rychlost, generování kontrolních signálů a rozhodovat o akcích zařízení podle nahraného algoritmu. Kontrolní prvky jsou nejčastěji desky s mikrokontrolerem jako Raspberry Pi nebo desky Arduino. Nejčastěji používaní jsou desky Arduino z důvodu velké knihovny programů pro ovládání pozemních dronů jako navrhovaného systém. Možnost programovat v jazyce C a C++, jednoduchá operace a tvorba prototypů pomocí těchto desek dodává na flexibilitě kontrolních jednotek značky Arduino.



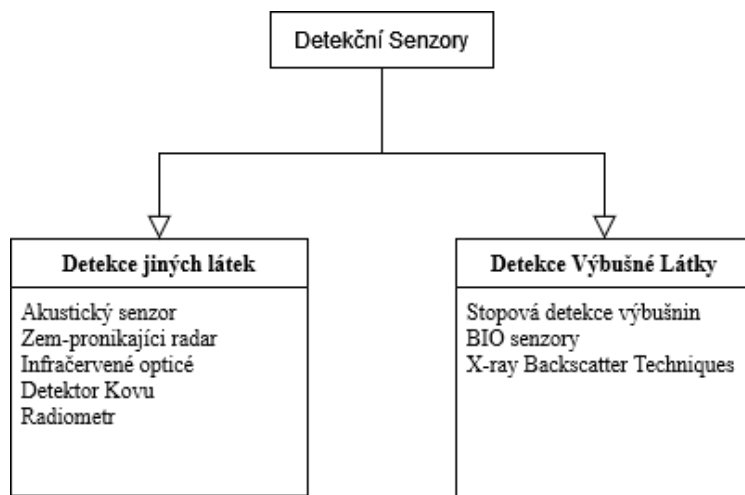
Obrázek 2.4: Pinout Desky Aruduino UNO.[9]

2.3.3 Senzory

Pro odminování bylo testováno mnoho technologií. V této části, se provede krátký průzkum popisující snímací technologie, které přispějí k bezpečnému a humánnímu odminování v současnosti a i v budoucnosti.

V zásadě lze snímací technologie rozdělit na dvě kategorie: technologie pro detekci výbušné látky a technologie detekci něčeho jiného, nejčastěji tím jsou kovové části a komponenty min. Znázornění rozdělení těchto metod je vyobrazené na obrázku 2.5.

Některé z nich jsou stručně popsány v dalších částech. Výhody a nevýhody různých metod senzorů jsou uvedeny v tabulce 1.1.



Obrázek 2.5: Rozdělení detekce podle detekované látky

Metody pro naše využití se budou soustředit nejvíce na detekci kovových částí a elektroniky, kvůli přidané komplexitě chemické detekce výbušných látek. Další variantou je organická detekce pomocí cvičeného zvířete. Citlivost zvířete pro detekci min je mnohem vyšší než u člověkem vyrobeného senzoru. Speciálně cvičené krysy nebo psi jsou používány k detekci výbušnin u mnohých organizacích. Většina těchto zvířat dokáže pracovat se většinou typů terénu s minimálním omezeními, nevýhodou je ale časové omezení z důvodu biologických limitací. Velká část z těchto organických řešení není schopna pracovat po dlouhou dobu efektivně z důvodu kvality jejich výcviku a organické povaze. Po několika hodinách mohou být demoralizované z monotónní práce. Účinnost detekce min zvířaty závisí na jejich výcviku a prostředí, kde pracují. Každopádně tato varianta může být pro většinu postižených zemí a organizací méně i více nákladná varianta. Bude záležet na komparativní ceně komerčních dronů a potřebné elektroniky oproti vycvičeným zvířatům. Značnou nevýhodou je možnost zranění a výdrž zvířete, tato morální limitace omezí frekvenci a využití systému.[10] Proto navrhované zařízení bude pro detekci cílových objektů využívat elektronické řešení pro detekci jiných látek mimo výbušniny.

Tabulka 1.1 Porovnání mezi různými elektronickými senzory

Druh Senzoru	Síly	Limitace
Akustické Senzory	Dálkové Snímání, Nízký počet falešných pozitiv, Detekce min bez kovových součástí	Detekce protitankových min, Detekce v hustě zarostené oblasti
Zem-pronikající radar	Detekce min bez kovových součástí, Nízké energetické požadavky, Informace o hloubce hledaného objektu	Rozlišení záleží od hloubky penetrace do substrátu
Infračervené optické	Pasivní sken rozsáhle oblasti, jednoduchost implementace, detekce min bez kovových součástí	Nemožnost pozorování jednotlivých min, velká šance falešných pozitiv
Detektor kovu	Velice robustní a testované technologie	Detekuje jen miny s kovovými součástkami.
Radiometr	Vhodné pro detekci min umístěných na povrchu s nízkým porostem	Neschopnost detekovat miny hluboko pod zemským povrchem

Nejvhodnější metodou pro detekci látek jiných od výbušnin by byl akustický senzor pro detekci dutin vytvořených minou, nanejvýš kvůli minimálnímu vplyvu na okolí, nízké šanci detekce a už zmíněných výhod s porovnatelně málo limitacemi. Jendou značnou limitací bude ale vyšší cena a komplexnost tohoto provedení. Proto navrhovaný projekt bude aplikovat využití Radiometru nebo detektoru kovu pro detekci hledaných objektů. Nevýhody pronikavosti provedení byly brány do úvahy a bylo uváženo, že jde o akceptovatelnou stratu schopnosti oproti požadované nekomplexnosti a materiálové dostupnosti zařízení.[11]

2.3.4 Pohonné systémy

Nejčastější řešení pro hnací jednotky pozemních dronů je motor na elektrický pohon, jinak elektromotor. Elektromotory roztáčejí kola nebo pásy systému pomocí elektrické

energie z akumulátorů. Existuje více typů elektromotorů, ale nejčastější typ využívaný pro aplikace v autonomních systémech jako navrhovaný systém je stejnosměrný bezkartáčový elektromotor (obecně značen jako BLDC). Tyto typy motorů mají kartáčové komutátory nahrazené nehybným jádrem, známým jako stator, kolem kterého jsou navinuty cívky. Na rotoru jsou umístěny permanentní magnety. Komutace probíhá pomocí regulátorů na bázi PWM (Pulzně šířkové modulace). Kontrola procesu je provedena skrz řídicí jednotku, která posílá signál do regulátoru. Regulátor následně zesiluje signál a ovládá motor skrz postupné přepouštění proudu do jednotlivých fází, tím vytváří magnetické pole ve vinutých cívkách, které následně generují magnetické pole, které způsobuje otáčení rotoru s permanentními magnety.[12]

2.3.5 Regulátory otáček motorů

Regulátory motorů, často označeny jako ESC (Electric Speed Controller), slouží pro kontrolu plynulé změny otáček BLDC motorů pomocí signálu pulzně šířkové modulace (PWM – Pulse Width Modulation). Tyto elektronická zařízení jsou propojena s řídicí jednotkou, která vysílá kontrolní signály. Fungují na principu střídače, což je typ měniče na přeměnu stejnosměrného proudu na střídavý. Třífázový regulátor je potřebný pro funkci s motory typu BLDC, potřebná pro změnu frekvenci otáček výstupního střídavého napětí. Regulátory dokážou řídit jed jeden motor samostatně, proto třeba podotknout, že při konfiguraci se čtyřmi motory bude třeba čtyři regulátory. Při výběru regulátoru je důležité zkontrolovat dva parametry:

1. **Špičkový proud** – Maximální proud, který zvládne regulátor za běžných podmínek vést. Udáván v ampérech. Pro bezpečný provoz zařízení je doporučena rezerva kolem 10%-
2. **Rozptyl napájecího napětí** –Udává, v jakých mezích se může pohybovat napětí napájecího akumulátoru systému.

Regulátory jsou často integrovány jako součást jedné kompletní kontrolní desky plošných spojů. Výhodou tohoto provedení je kompaktnost a ušetření váhy při jednotné aplikaci. Na druhou stranu, velkou nevýhodou je šance poškození celé desky při případné poruše zařízení. V této eventualitě bude třeba nahradit celou kontrolní desku, zatím co v samostatném provedení stačí nahradit jen postižený regulátor. Z této stránky je ekonomičtější samostatné provedení nad jednotným.[13]

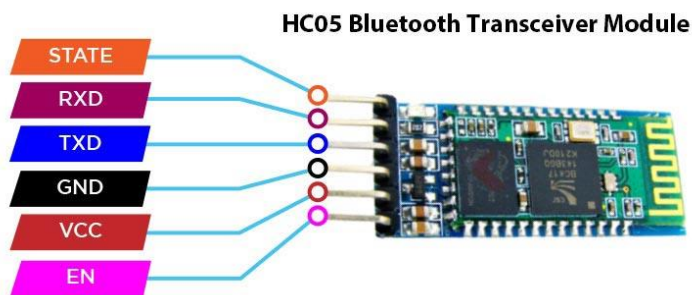
2.3.6 Napájení systémů

Akumulátor je zdroj elektrické energie, který je charakteristický tím, že se dá opakovaně nabíjet. Častým akumulacním prvkem pro pozemní drony jsou články sestavené z vícero konzumních Li-Ion baterií s napětím 12V. Takovýto akumulátor je velice materiálně nenáročný a funkční.[8]

Komerční stavba akumulacního prvku také přináší flexibilitu pro modifikaci systému podle potřeb v poli nebo profilu mise ze strany operátora. Taktéž eliminuje potřebu nabíjení pomocí možnosti jednoduché a levné výměny článku za nový a následnou recyklaci nebo nabytí použitého článku.

2.3.7 Systém pro výměnu dat

Pro plnou automatizaci systému bude potřebná možnost výměny dat mezi operátorem a systémem, pro realizaci této komunikace můžeme zavést více řešení, prvním řešením by bylo přidání desky modulu vysílače Bluetooth do systému pro posílání dat v reálném čase[8], nebo využití pevného portu na řídicí desce. Nevýhodou pevného připojení je omezení operační vzdálenosti délkou kabelu nebo ztráta možnosti komunikace v reálném čase.



Obrázek 2.6: Deska modulu vysílače Bluetooth HC-05.[8]

2.3.8 Systém pro detekci překážek

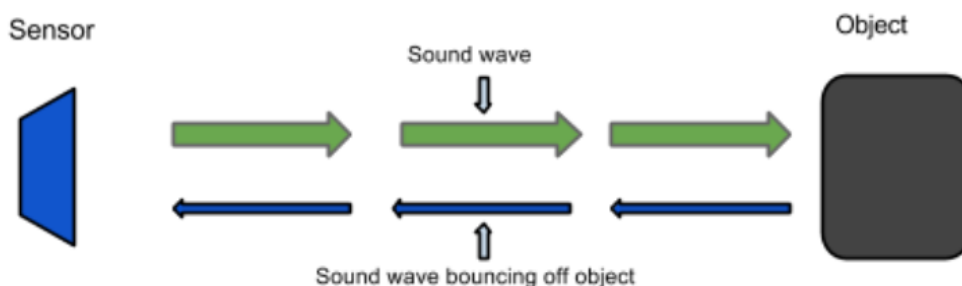
Při operaci systému v poli, demonstrátor může dojít k nečekané situaci a to k obstrukci připravené trajektorie nečekanou překážkou. Tuto eventualitu je potřebné brát do úvahy při implementaci demonstrátoru. Problematika může být řešena více způsoby, nejpoužívanějším řešením pro podobné druhy systémů je pomocí infračervené detekce objektu, ultrazvukové detekce nebo standartní optické detekce pomocí digitálních kamer.

Pro potřeby vyvíjeného projektu bude nejvhodnější ultrazvukový senzor vzdálenosti který bude detekovat obstrukci při definované vzdálenosti a podle potřeby vykoná výhybný manévr.



Obrázek 2.7:Ultrazvukový senzor HC-SR04.[14]

Ultrazvukové senzory používají zvukové signály k určení vzdálenosti mezi senzorem a nejbližším objektem v jeho cestě. Ultrazvukové senzory jsou v podstatě zvukové senzory, ale pracují na frekvenci vyšší než lidský sluch. Senzor vysílá zvukovou vlnu o určité frekvenci a pak naslouchá té konkrétní zvukové vlně, která se odrazí od blokujícího předmětu a vrátí se zpět na senzor. Senzor dále sleduje čas mezi vysláním zvukové vlny a návratem zvukové vlny. Pokud je známo jak rychle se vlna pohybuje a jak dlouho zůstává ve pohybu, je možné zjistit vzdálenost, kterou vlna procestovala.[14]



Obrázek 2.8:Funkce ultrazvukového senzoru.[14]

2.4 Simulace v prostředí MATLAB

MATLAB je vysoce výkonný programovací jazyk pro technické výpočty a vizualizaci dat. Integruje výpočty a zprostředkuje vizualizaci a programování ve snadno použitelném prostředí, kde jsou problémy a řešení vyjádřeny ve známe matematické notaci. Mezi typické použití patří:

- Matematika a počítání
- Vývoj algoritmů
- Modelování, simulace a prototypování
- Analýza dat, průzkum a vizualizace
- Vědecká a technická grafika
- Vývoj aplikací včetně tvorby grafického uživatelského rozhraní

MATLAB je interaktivní systém, jehož základním datovým prvkem je pole, které nevyžaduje dimenzování. To uživatelům umožňuje vyřešit mnoho technických výpočetních problémů, zejména ty s maticovými a vektorovými formulacemi, za zlomek času, který by zabralo napsání programu ve skalárním neinteraktivním jazyce, jako je C nebo Python. Název MATLAB „znamená maticová laboratoř“. MATLAB byl původně vyvíjen, aby poskytoval snadný přístup k maticovému softwaru vyvinutému v projektech LINPACK a EISPACK pro Fortran, které společně představují nejefektivnější software pro maticové výpočty. MATLAB se vyvíjel v průběhu let za přispění mnoha uživatelů. V univerzitním prostředí je standardním výukovým nástrojem pro úvodní a pokročilé kurzy matematiky, inženýrství a přírodních věd. V průmyslu a vývoji je MATLAB nástrojem pro vysoce produktivní výzkum, vývoj, prototypování a analýzu.[15]

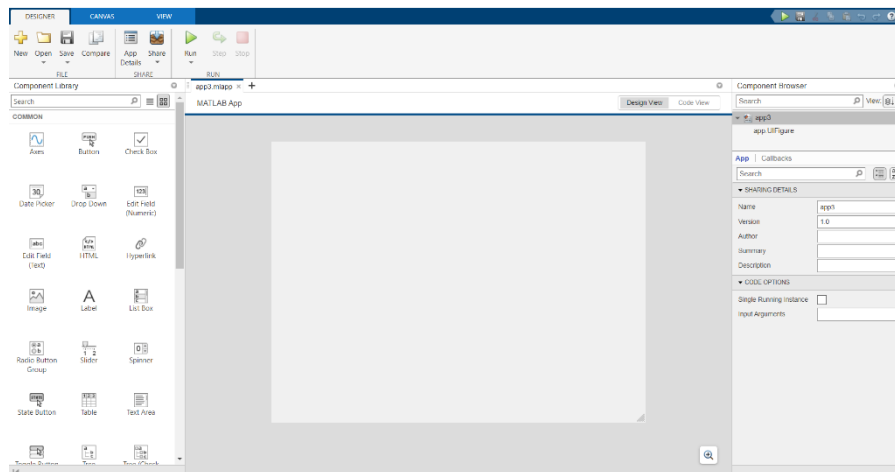
MATLAB obsahuje řadu aplikačně specifických řešení nazývaných „toolboxy“. Jsou to nástroje, které mají velkou podstatu pro většinu uživatelů MATLABu, umožňují uživatelům se naučit používat specializované technologie. Toolboxy jsou komplexní kolekce funkcí MATLAB, známe jinak jako „M-soubory“, které rozšiřují prostředí MATLABu o řešení konkrétních tříd problémů. Oblasti, ve kterých jsou sady nástrojů dostupné zahrnují zpracování signálů, řídicí systémy, neuronové sítě, simulace a mnoho dalších.[16]

2.4.1 Modelování, simulace a prototypování

Platformy na prototypování jsou mnohé a každá má ve určité jazykové vlastnosti. Pro realizaci simulací byla vybrána platforma MATLAB. Značnou výhodou rozhraní MATLAB je vybroušené a časem otestované IDE (Vývojové prostředí se snadnou úpravou, laděním skriptů a velmi citlivým rozhráním pro vykreslování dat. Tato jednoduchost má i své limitace. Pokud jde o komplexní program, IDE MATLABu není vhodné pro realizaci (např. nedostatek standardních funkcí editoru kódu, jako jsou multikursory atd.). V MATLABu jde nejčastěji o prototypování konceptů, které pak budou realizovány v komplexnějším jazyku jako Julia, C nebo Fortran.

2.4.2 Vývoj aplikace a GUI

Grafické uživatelské rozhraní (GUI) je obrázkové rozhraní, které umožňuje uživateli používat aplikaci bez porozumění algoritmu. Toho je dosaženo poskytnutím intuitivního ovládání. Ovládací prvky jsou tlačítka, na která uživatel klikne, aby získal určený výstup. GUI je program řízený událostmi. Získává vstup a používá funkce zpětného volání ke spuštění programu a poskytnutí výsledků. MATLAB generuje kód pro GUI pomocí rozhraní App designer. Díky tomu je ideálním nástrojem při navrhování GUI pro inženýrské aplikace.[16]



Obrázek 2.9: Rozhraní App Designer

2.5 Model chování demonstračních systémů

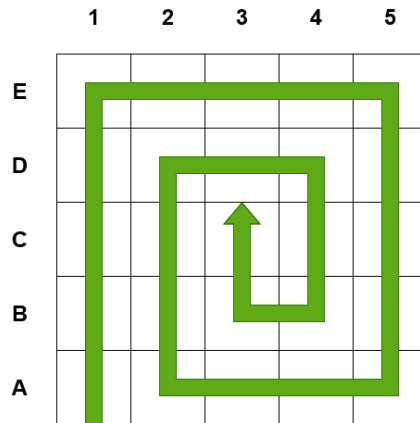
Požadovaný systém v pozemním provedení bude muset být schopen navigace komplexním prostředím, rozlišování změn ve vodivosti okolí a při dostatečné změně reagovat na podnět a označit místo, kde k dané změně došlo. Pro realizaci této funkce je nutné vytvoření algoritmů chování systému a metod pro dosažení co nejvyšší efektivity systému. Systém bude muset být schopný navigovat své okolí, orientovat se ve variabilním prostředí pro správnou lokalizaci a označení hrozeb ve porovnání se svou pozicí. Systém bude testován s několika metodami pohybu skrz vyznačenou oblast pro vytvoření dostatečné bezpečného koridoru pro bezpečný pohyb operátora.

Systém bude nesledovat operátorem vybranou dráhu přes terén označený na průzkum, který bude rozdělený na vybraný počet buněk, na každé buňce se systém zastaví a prozkoumá ji pro existenci potenciální hrozby pomocí vstavených instrumentů, je-li v dané buňce dojde k naměření definovaných hodnot ukazujících na možný výskyt hledaných objektů, dron označí tuto buňku pro operátora a pokračuje dál v průzkumu podle vybrané trasy. Operátor pak může porovnat rozdělenou plochu s realitou a hrozbám se buď vyhnout, nebo je eliminovat. Průzkum pole buněk bude možné implementovat různými způsoby, což je úkolem simulačního testování. Najít nejvhodnější algoritmus pro implementaci. Pro navrhovaných systém byly vybrány tři typy trajektorie:

- Pohyb po dráze ve tvaru spirály
- Pohyb po dráze podle sloupců
- Pohyb po definované dráze

2.5.1 Pohyb po dráze ve tvaru spirály

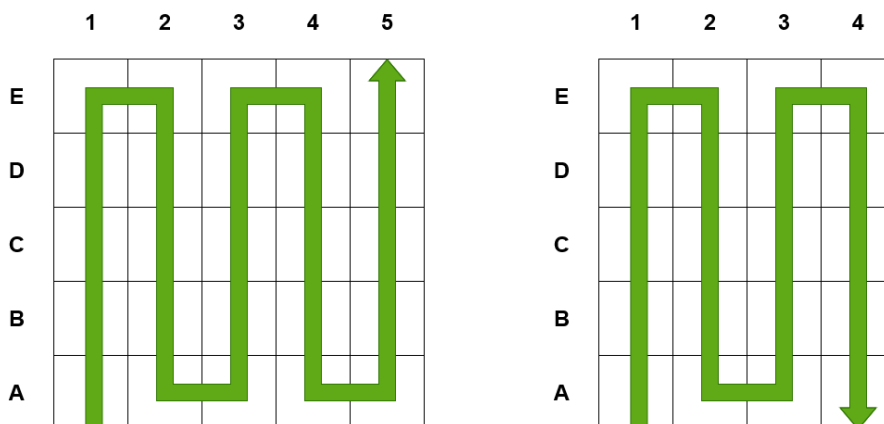
Při první variantě systém nejprve prozkoumá okraje vyhrazené zóny a pak přechází do středu po spirálové trajektorii. Pohyb začíná směrem vpřed dokud se nedostane ke okraji vyznačeného pole nebo ke už prozkoumané buňce, kde se otočí o devadesát stupňů až dokud se nedostane do středu zkoumaného pole. Tato trasa je poměrně nevýhodná z důvodu vysokého počtu změn směrů a konečné pozici dronu v středu pole, která zkomplikuje jeho návrat ke operátorovi. Vizualizace na obrázku 2.13.



Obrázek 2.10: Trasa pohybu systému podle spirály v poli buněk.

2.5.2 Sloupcový průzkum

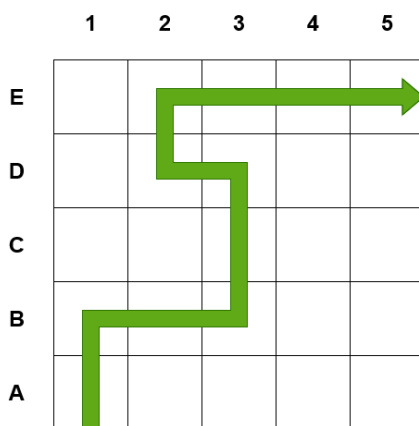
Sytém přechází zónu po sloupcích, na konci každého z nich se otáčí o devadesát stupňů a přechází na vedlejší sloupec. Hlavní výhodou tohoto typu trasy je jednoduchost a cyklický princip algoritmu, co má za následek jednoduchou implementaci a modifikaci. Pohyb má nižší počet změn směrů oproti trajektorii ve spirále. Podle rozvržení plochy na buňky může systém skončit na straně, na které byl vypuštěn co zjednoduší jeho návrat k operátorovi. To se docílí pomocí využití parného počtu sloupců. Jednotlivé vizualizace na obrázcích 2.14 a 2.15.



Obrázek 2.11: Trasy pohybu systému podle sloupců v poli buněk.

2.5.3 Kopírování definované trasy

Trasa je definována operátorem podle individuálních potřeb pro danou situaci. Na rozdíl od předešlých variant, systém neprojde všechny buňky, ale jen ty které definuje operátor. Hlavní výhodou je rychlost a efektivita tohoto provedení. Systém projde jen místa, která jsou definována pro vytvoření bezpečné cesty z bodu A do bodu B. Nevýhodou je možnost zanechání nenalezené munice v nepročištěných buňkách, co vytváří šanci úrazu při následujících průjezdech. Reprezentace možné trajektorie na obrázku 2.16.



Obrázek 2.12: Trasa pohybu systému podle definované trasy.

3. PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Analýza problému

Pozemní mina je výbušná nálož pohřbená těsně pod nebo na povrchu země. Využívá se při vojenských operacích proti pěchotním jednotkám a vozidlům. Jejich taktický význam je zpomalit nebo bránit postupujícímu nepříteli. To se děje způsobením těžkých zranění spíše než způsobením fatální ztrát. Nášlapné miny se mohou lišit podle jejich cíle na nášlapné miny a protitankové miny. Protitankové miny nejsou obvykle spuštěny lidmi, mají mnohem větší detonační práh než nášlapné miny, nebo systémy pro detekci vozidel. Tyto zařízení jsou i nadále problémem pro více než 78 zemí, proto poptávka pro mobilní autonomní roboty používané k detekci těchto hrozeb a jejich eliminaci roste. Ačkoli jsou automatické systémy méně náchylné k chybám, neovlivněny strachem ze smrti nebo jinými podmínkami prostředí a jsou mnohem přesnější než organický ženíšté, trpí horšími pohybovými systémy v nerovném terénu a omezenou flexibilitou v neočekávaných situacích.

Obecně řečeno, neexistuje žádné omezení, kde nášlapné miny nelze položit v čase války. Proto při návrhu demonstrátoru systému pro detekci těchto hrozeb bude nutné splnit několik dílčích úkolů zabývajících se jednotlivými částmi tak, aby systém splňoval svůj účel v dostačující míře:

1. **Návrh konceptu systému** – Systém musí splnit požadované parametry a kapacity. Musí umět autonomně procházet vyznačenou plochu, najít hrozby a pak je označit.
2. **Navrhnout model chování a funkce našeho systému** – Vymyslet algoritmy a postupu chování, které systém bude následovat aby dosáhl optimální funkce podle požadavků.
3. **Vytvořit simulovaný model chování našeho systému v prostředí MATLAB pomocí GUI** – Pomocí rozhraní MATLAB vytvořit simulované instance našeho systému ve náhodně vygenerovaném prostředí a situacích, kde bude muset náš model chování poukázat svou funkci a efektivitu.

- 4. Dodat ověření konceptu skrz výsledky simulací, které budou základem tvorby chování koncového prototypu** – Zkompilovat výsledky simulací, analyzovat jejich průběh a aplikovat je na řešení pro funkční prototyp.

3.2 Cíl práce

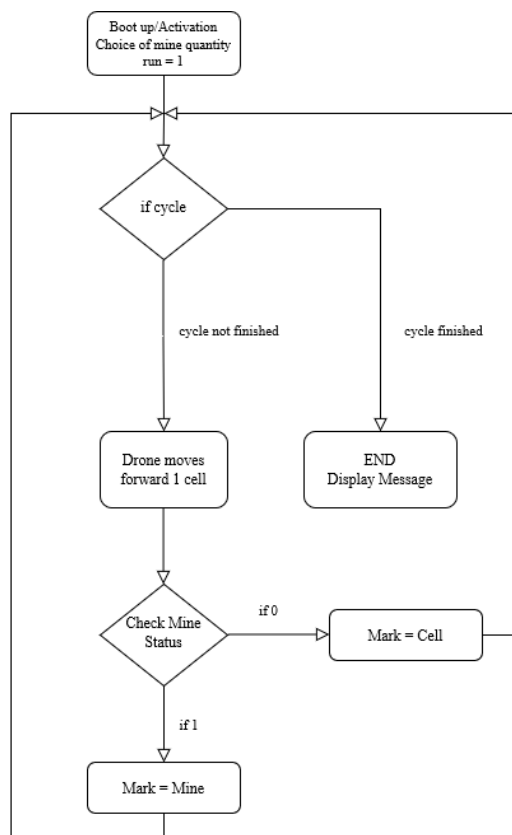
Cílem práce je navrhnout demonstrátor systému pro detekci min a improvizovaných výbušných zařízení. Dílčími úkoly jsou příprava teoretických podkladů pro tvorbu systému, návrh modelu chování systému, simulovat způsoby chování reálného systému v prostředí MATLAB, zkompilovat výsledky různých scénárií a vyhodnotit je. Na základě těchto výsledků a podnětů pak vytvořit reálný prototyp ze stavebnice a vyhodnotit schopnosti vybraných metod v kontrolovaném prostředí. Nejdůležitější částí bude tvorba různých druhů algoritmů chování systému a vyhodnocení efektivity zvolených algoritmů pro funkci systému oproti teoretickým předpokladům založených na teorii a výsledků simulací. Poslední částí bude vyhodnocení nejefektivnějších a nejméně efektivních algoritmů pro funkci systému, které jsou následně aplikovány v experimentálním demonstrátoru sestaveném z specifikovaných částí, testování aplikovaných algoritmů v kontrolovaném prostředí a vyhodnocení jejich efektivity v porovnání s simulovaným řešením. Závěrečnou částí bude celkové vyhodnocení konceptu jako demonstrátoru navrhovaného systému.

3.3 Modelování chování demonstrátoru v digitálním prostředí a analýza testovaných metodik

Při návrhu simulací je nutné nejprve připravit vizuální reprezentaci funkce programu pro jednodušší implementaci. Pro tento účel byl zvolen systém vizuální reprezentace „flowchart“ jinak známý jako vývojový diagram. Na následujících diagramech budou znázorněny základní principy chování simulovaného demonstrátoru systému pro jednotlivé zvolené metodiky.

3.3.1 Pohyb po dráze ve tvaru spirály

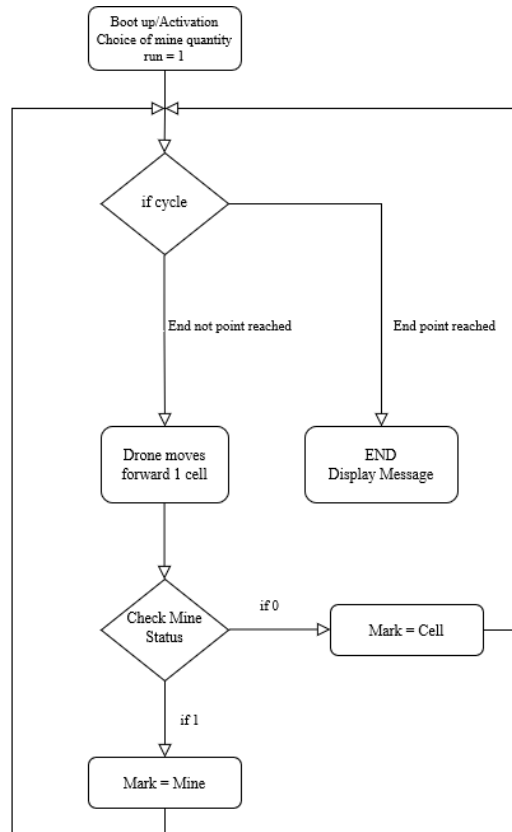
Princip chování simulovaného dronu v první variantě je velice jednoduchý spočívající na cyklickém chování. Dron začne na poli sestaveném z předem definovaného počtu buněk. Prvním úkolem operátora bude zadat příkaz ke aktivaci systému. Pro předčasnou deaktivaci systému operátorem pomocí GUI využíváme tlačítko v, přidělením logické nuly do proměnné „ex“. Po správné detekci pracovního stavu dron provede kontrolu pole, pokud půjde o pole na kterém už dron byl nebo se nachází mimo vyznačené zóny operace se dron otočí o 90 stupňů a provede kontrolu na alternativní buňce. Podle výsledku bude buňka označena jako „čistá – CLEAR“ bílým čtvercem, nebo „mina – MINE“ červeným kruhem. Po označení buňky dojde ke kontrole ostatních buněk, pokud jsou ještě nějaké buňky bez označení cyklus se opakuje, dokud dron nenarazí na označené buňky co značí konec simulace. Vizualizace na obrázku 4.1.



Obrázek 3.1: Vývojový diagram pohybu systému podle spirály v poli buněk.

3.3.2 Sloupcový průzkum

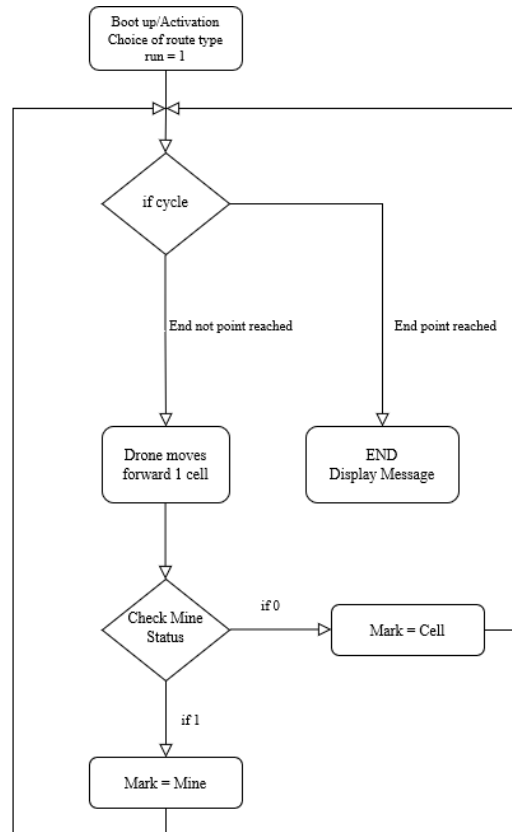
Lehce modifikovaný algoritmus prvního algoritmu je využit v druhé variantě. Na rozdíl od první varianty, tato varianta bude jednodušší z důvodu úspornějšího principu této varianty. Dron se pohybuje směrem nahoru dokud nenarazí na okraj skenované plochy, jakmile dorazí na okraj, dron se otočí o devadesát stupňů, pohne se na buňku po své pravici a otočí se o dalších devadesát stupňů. Pak se cyklus opakuje až do momentu dokud dron dorazí na specifikovaný konečný bod. Pomocí parného a neparného počtu sloupců může operátor ovlivnit koncovou pozici systému.



Obrázek 3.2: Vývojový diagram pohybu systému po sloupcích.

3.3.3 Kopírování definované trasy

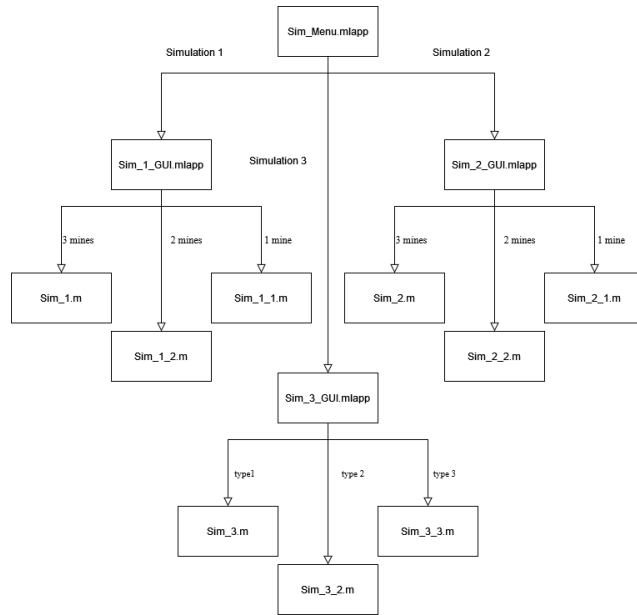
V poslední navrhované variantě má operátor největší kontrolu nad pohybem systému a simulace obsahuje nový prvek GUI. Pomocí GUI operátor definuje trajektorii systému ve simulovaném prostředí pomocí zvolení vybrané trajektorie, které se nabízejí pro průzkum. Po aktivaci algoritmu dron vyhledává nejbližší vybranou buňku, která ještě nebyla prozkoumána, přechází na ni, provádí průzkum po vybrané trase, cyklus opakuje dokud neprozkoumá všechny definované buňky.



Obrázek 3.3: Vývojový diagram pohybu systému po definované trajektorie v poli buněk.

3.3.4 Architektura GUI

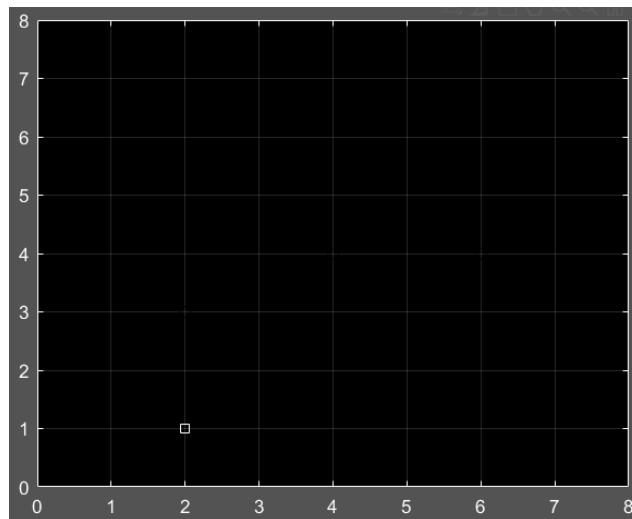
Poslední částí navrhované aplikace pro simulaci chování systému je vytvoření grafického uživatelského rozhraní pro ovládání a interpretaci dat simulací. Rozhraní bude tvořeno několika samostatnými soubory, které na sebe navzájem volají co usnadní operátorovi kontrolu nad aplikací, tím že všechny funkce budou navzájem propojeny z jednoho hlavního panelu. Architektura navrhovaného GUI na diagramu 4.4.



Obrázek 3.4: Diagram architektury GUI aplikace

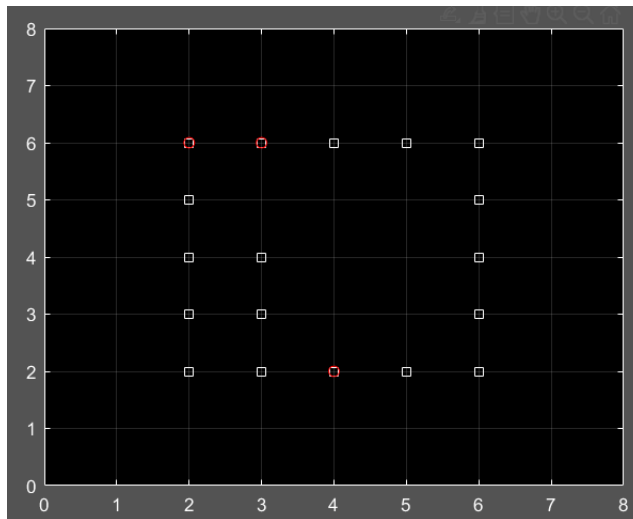
3.3.5 Pohyb po dráze ve tvaru spirály

Simulace využívá funkci plot jazyku MATLAB. Pomocí této funkce je vytvořeno rozhraní na kterém se náš systém pohybuje. Označuje zkoumané bloky a vizualizuje data pro uživatele. Simulovaný dron začíná na koordinátách 2,1. Znázorněno na obrázku 4.4.

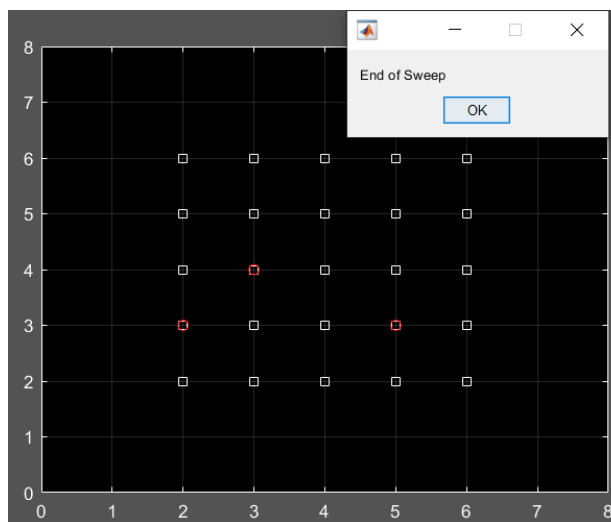


Obrázek 3.5: Počáteční stav simulace 1

Podle připravené trajektorie je dán simulovanému systému směr, který následuje, po dosažení změny orientace podle plánu simulace. Dron změni svůj směr a pokračuje podle definované dráhy „if“ cyklem. Při střetu s generovanou minou se na polohu položí značka která byla schována mimo pole. V této variante simulace končí dotekem dronu označené plochy co signalizuje konec operace. Průběh na obrázcích 4.5 a 4.6.



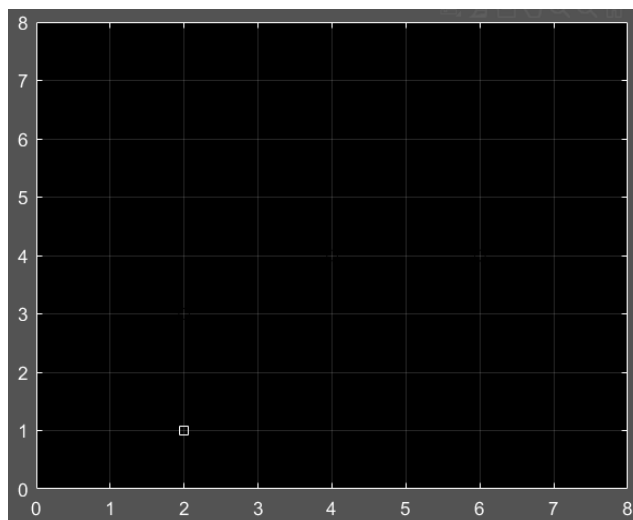
Obrázek 3.6: Středový stav simulace 1



Obrázek 3.7: Koneční stav simulace 1

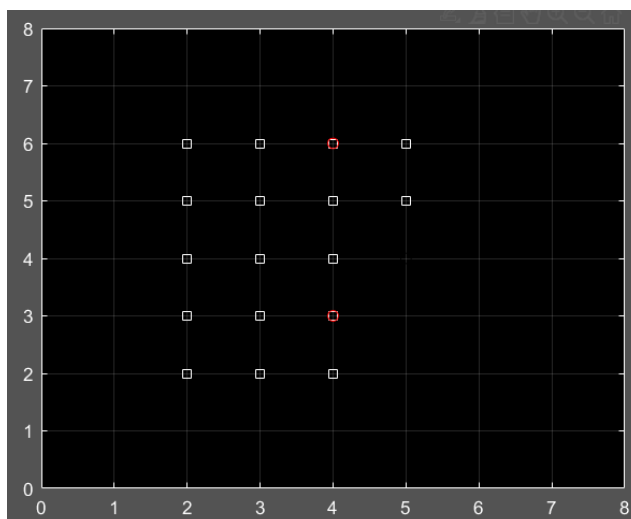
3.3.6 Sloupcový průzkum

Princip druhé simulace je téměř identický ke principu simulace první. Využívá stejných funkcí plot a zdrojový kód velice podobný. Změnou je, ale správní dronu. V druhé simulaci dron přechází pole po sloupcích, kde se otočí nejprve o devadesát stupňů a pak dalších devadesát na následující buňce.

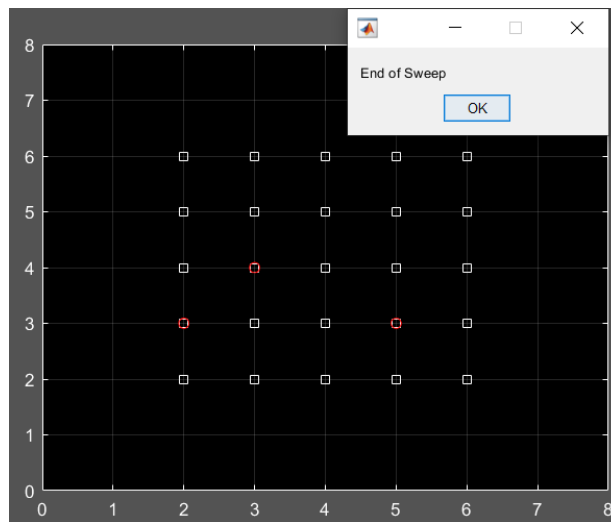


Obrázek 3.8: Počáteční stav simulace 2

Koncová podmínka se také liší od podmínky první simulace, jelikož dron nikdy nenarazí na označenou buňku tak se podmínkou stává předem-vybraný koneční bod. V případě této simulace šlo o buňku s koordinátami 6,6.



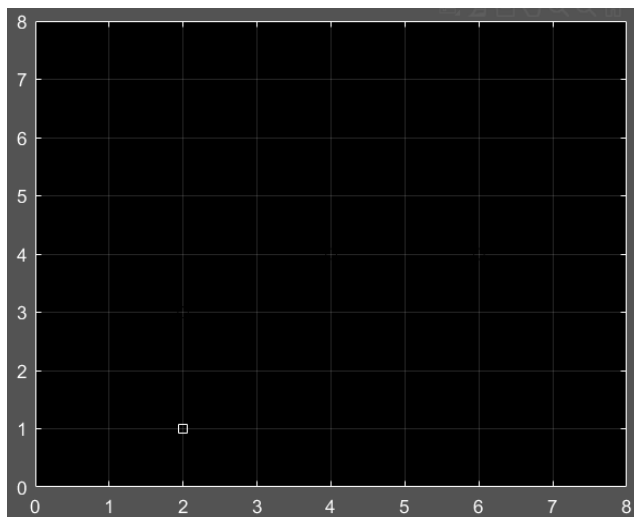
Obrázek 3.9: Středový stav simulace 2



Obrázek 3.10: Koneční stav simulace 2

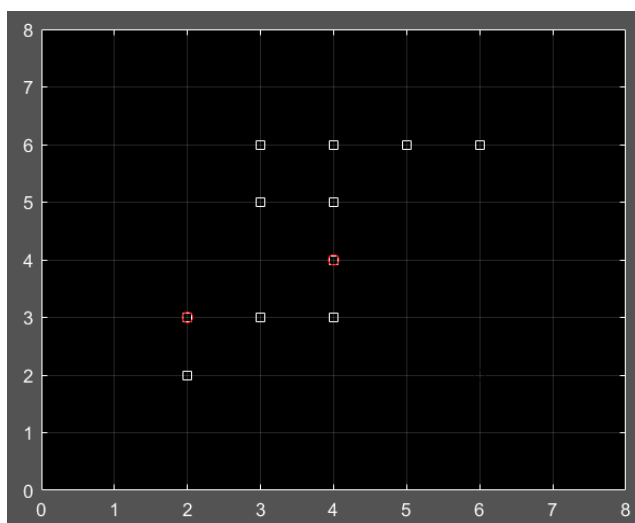
3.3.7 Kopírování definované trasy

Principem poslední simulace je pohyb dronu po předem-definované trase, tato trasa je definovaná podle stejných principů jako u předešlých typů simulací, podle změn směru smilovaného zařízení. Tento přístup má výhodu nejkratšího času průběhu a nejmenšího počtu změn směrů simulovaného dronu. Nevýhodou ale je ztráta plného průzkumu pole. Tento model vytvoří bezpečnou cestu skrz pole, ale statisticky nenajde všechny miny ve většině simulací. Aplikace má tři variace trasy pro simulování. Stejně jako u simulace typu dva se mění koncová podmínka na moment, kdy se dron dostane do definované koncové pozice.

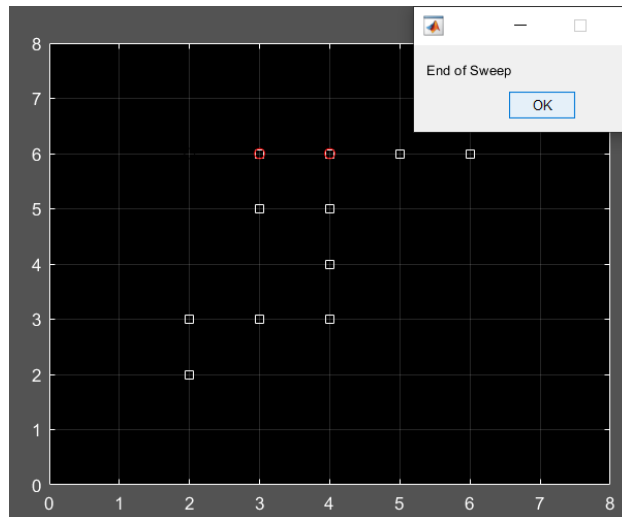


Obrázek 3.11: Počáteční stav simulace 3 typu 1

Efektivita simulace závisí na vybrané trajektorii, ale při převažující většině permutací trajektorie jde o nejefektivnější variantu.

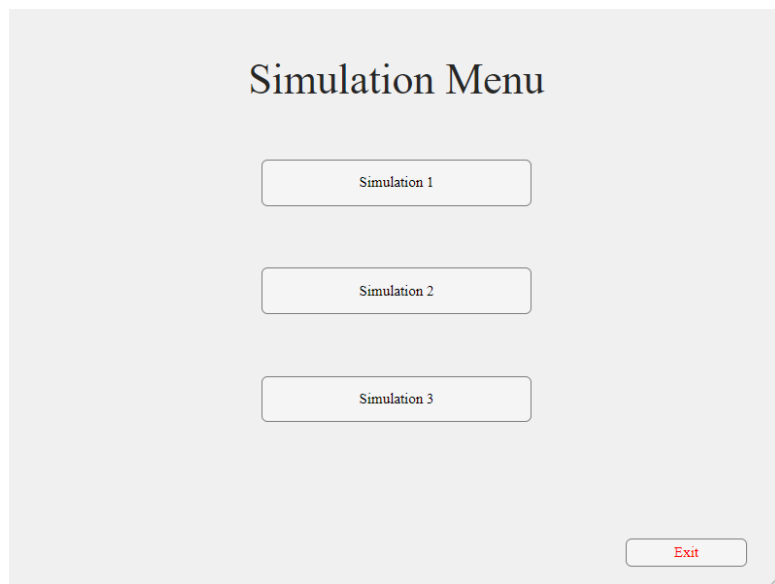


Obrázek 3.12: Středový stav simulace 3 typu 1



Obrázek 3.13: Koneční stav simulace 3 typu 1

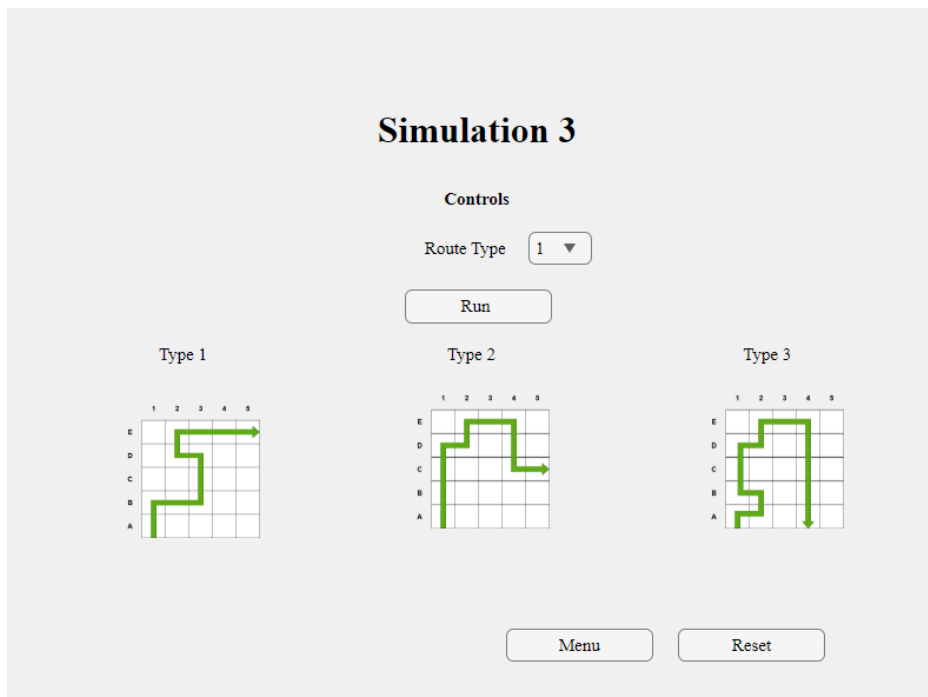
Dizajn GUI byl realizován skrz rozhraní App designer. Hlavní panel tvoří čtyři multifunkční tlačítka s textovým polem. První tři slouží na zvolení vybraného simulačního souboru a poslední slouží na uzavření aplikace pomocí příkazu „closereq“. Hlavní panel zobrazený na obrázku 4.14.



Obrázek 3.14: Hlavní panel GUI

Po výběru požadované simulace operátor stiskne požadované tlačítko, které uzavře hlavní panel a otevře panel pro modifikaci požadované simulace. Při simulacích typů jedna a dva může uživatel změnit počet min mezi jednou, dvěma a třemi. Při třetím typu

mění typy tras. Tato změna je zprostředkována roletovým menu s třemi možnostmi. Okno simulace se otevírá tlačítkem „run“.



Obrázek 3.15: Ovládací panel simulace

Každý ovládací panel simulace obsahuje grafické znázornění simulované trasy. Kromě tlačítka run panel obsahuje další dvě multifunkční tlačítka s textovým polem a to tlačítka „menu“ a „reset“. Tlačítko „menu“ uzavře vybraný kontrolní panel a vrátí uživatele na instanci hlavního panelu. Tlačítko „reset“ manuálně vymaže probíhající simulaci a připraví aplikaci pro další použití.

3.3.8 Výsledky simulací

Analýza výsledků podle vybraných kritérií efektivity simulací vyvodila několik závěrů, které v této části přehodnotíme. Tyto závěry jsou:

- **Rychlost Metody:** Toto kritérium se zaměřuje na rychlost vybrané metody. Měření ukázala, že nejrychlejší metodou je pohyb podle definované dráhy. Komplexita trajektorie pak udává délku simulace. Vybrané trajektorie pro tuto metodu byly průměrně o deset sekund kratší než ostatní možnosti, kterým celý průzkum trval kolem osmnácti sekund.
- **Efektivita Metody:** Při testování tohoto kritéria jsme dbaly na několik vlastností: bezpečnost, rychlost a modifikovatelnost. Nejeftivnější se projevila metoda sloupcového průzkumu. Z ohledu bezpečnosti vždy průzkum našel všechny miny,

na rozdíl od předem-definované trajektorie. Rychlostně byly simulace obvykle o sekundu rychlejší než spirálové trajektorie. Metoda byla jednoduše modifikovatelná pomocí sloupcové architektury, změnou počtu sloupců může operátor jednoduše změnit velikost zkoumané plochy a finální polohu systému na koncové poloze operace.

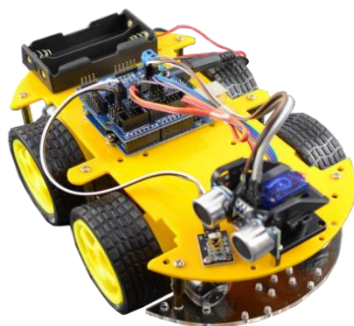
- **Praktická aplikace Metody:** Posledním kritériem je aplikace metody v reálném prostředí. Z důvodů nerovného terénu, strate jednotek explodujícím minám, časové tísní a materiálními limitacím nejvhodnější metodou bude pohyb po definované trase. Docílí se tím vytvoření bezpečného koridoru pro operátora za co nejnižší čas a s co nejnižší šancí selhání systému.
- **Neohybnost při překážkách:** Značným nedostatkem simulačních profilů je neschopnost vyhnout překážek, které by se mohli vyskytnout v cestě demonstrátoru, toto řešení bude aplikováno v konečném dizajnu demonstrátoru. Realizace bude spočívat v implementaci senzoru pro nalezení překážky a následnému výkonu připraveného algoritmu pro vyhnout se překážce.

4. NÁVRH PROTOTYPU

Pro jednoduchost dizajnu byla vybrána platforma typu stavebnice, která je značně výhodnější na implementaci než fabrikovaná platforma a dodává dostačující schopnost modifikace podle potřeb uživatele.

4.1 Výběr nosné platformy a kontrolních prvků

Pro nosnou platformu byla zvolena permutace dizajnu vozítka Elegoo. Jde o versatilní a jednoduše modifikovatelnou platformu na základe vybrané desky architektury Arduino UNO.



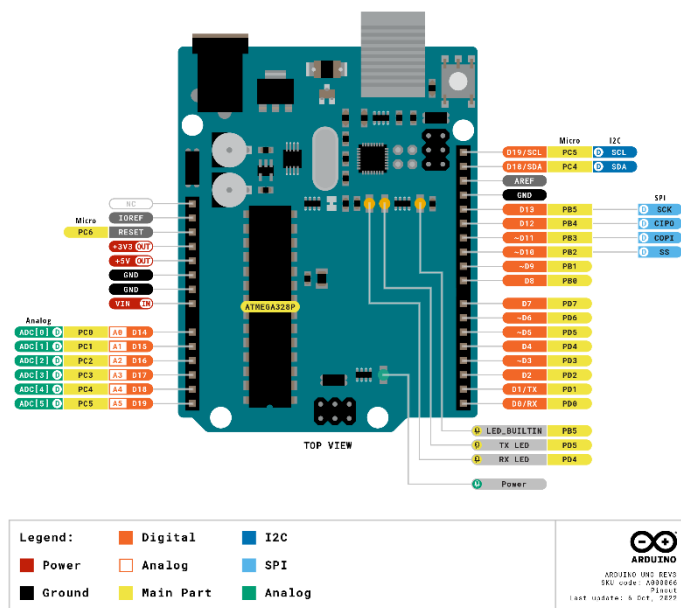
Obrázek 4.1: Vozidlo značky Elegoo[7]

4.1.1 Vývojová deska Arduino UNO

Testy byly provedeny pomocí vývojové desky Arduino UNO, která slouží jako kontrolní jednotka demonstrátoru. Byla vybrána z důvodu dostupnosti a jednoduchosti modifikace a implementace, spolu s rozsáhlou kompatibilitou s ostatními komponenty.[17]

Specifikace:

- Typ Čipu: ATmega328
- Frekvence: 16 MHz
- Paměť: 32 KB, 0,5 KB rezervováno pro bootloader
- SRAM: 2 kB, EEPROM: 1 kB
- 14 digitálních vstupů/výstupů a 6 analogový vstupů



Obrázek 4.2: Arduino UNO pinout.[17]

4.1.2 Vývojová deska Arduino NANO

Test s ovládáním dálkovým ovladačem byly provedeny pomocí vývojové desky Arduino NANO, která slouží jako kontrolní jednotka detektoru kovů. Byla vybrána z důvodu limitace kompatibilitosti ovládání s zvoleným systémem detekce kovů.[18]

Specifikace:

- Typ Čipu: ATmega328
- Frekvence: 16 MHz
- Paměť: 32 KB, 0,5 KB rezervováno pro bootloader
- SRAM: 2 kB, EEPROM: 1 kB
- 14 digitálních vstupů/výstupů a 8 analogový vstupů

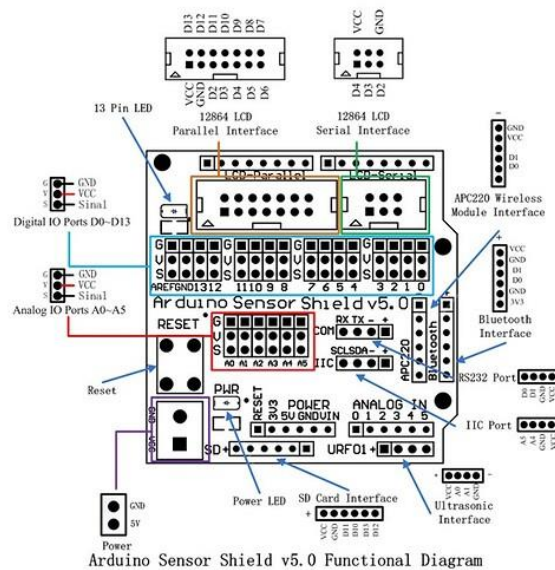
4.1.3 Arduino Sensor Shield v5

Tento senzorový štít je deska, která umožňuje připojit řadu senzorů a externích zařízení ke kontrolní desce Arduino pomocí jednoduše připojitelných propojovacích kabelů, umožňuje funkci a propojení více druhů senzorů pro operaci demonstrátoru. Nejnovější Arduino sensor Shield V5.0 si obsahuje mnohé výhody oproti předešlé verzi Arduino Sensor V4.0, jako jsou: laminace, I2C rozhraní, 32 řídicí rozhraní pro řízení, komunikační rozhraní modulu Bluetooth, modul karty SD pro komunikační rozhraní, komunikační rozhraní radiofrekvenčního modulu APC220, ultrazvukový senzor RB URF v1.1

rozhraní, sériové rozhraní LCD 12864 a paralelní rozhraní, které umožňuje snadné použití pro rozšíření.[19]

Specifikace:

- Rozšiřuje UNO o další analogové/digitální větvení
- Servo linka
- I2C rozhraní
- Prostor pro: moduly bluetooth, SD karty, APC220 rádiovou frekvenci, ultrazvukový senzor



Obrázek 4.3: Pin out Arduino Sensor Shield v5[20]

4.1.4 Regulátor Motorů LN298N

Modul může ovládat jeden dvoufázový krokový motor, jeden čtyřfázový krokový motor nebo více DC motorů, záleží také na tom, jaký proud potřebují motory na fungování. Modul obsahuje také ochrannou diodu a kondenzátory pro lepší stabilitu a spolehlivost. Je ideální pro aplikace v robotice. L298N dokáže měnit rychlost motorů pomocí PWM (Pulse Width Modulation) dokáže taky zajistit zpětný chod motorů.[21]

Specifikace:

- Čip: L298N
- Logické napětí: 5V
- Hnací napětí: 5V – 35V
- Logický proud: 0 mA-36 mA

- Hnací proud: 2A(MAX pro jeden bridge)
- Maximální výkon: 20W
- Rozměry: 55mm x 60mm x 30mm
- Váha: 26g

4.2 Výběr detekčních prvků

4.2.1 Ultrazvukový senzor HC-SR04

Pro testování byl využit ultrazvukový senzor HC-SR04. Tento senzor má dva snímače na jedné desce plošných spojů se vzájemnou vzdáleností 2 cm. Každý snímač je schopný vysílat zaznamenávat zvukové signály. Umístění obou senzorů do jednoho modulu zjednodušuje testování, ale nízká vzdálenost mezi snímači výrazně snižuje přesnost měření vzdálenosti referenčního bodu od senzoru. Z tohoto důvodu by pro praktické využití systému bylo vhodné použití ultrazvukového senzoru. HC-SR04 lze aktivovat k vyslání ultrazvukového signálu nastavením TRIG na hodnotu HIGH. Jakmile je signál odeslán, pin ECHO automaticky přejde na HIGH. Tento pin zůstane HIGH, dokud signál znovu nezasáhne senzor. Tímto je možné vypočítat vzdálenost k objektu sledováním toho, jak dlouho zůstává pin ECHO HIGH. Čas, který ECHO zůstává HIGH je doba, kterou zvuková vlna stráví v pohybu.



Obrázek 4.4: Ultrazvukový senzor HC-SR04.[14]

Pro interpretaci přepočtu času do vzdálenosti, je potřebné přepočítat čas ozvěny pomocí rychlosti zvuku.[14] Použito s knihovnou SR04.h.[22]

Parametry:

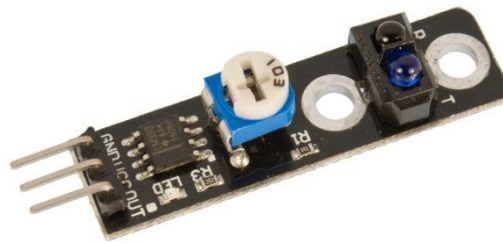
- Napájení: +5V DC
- Pracovní proud: 15mA
- Efektivní úhel: <math><15^\circ</math>
- Dosah: 2 400 cm
- Rozlišení: 0,3 cm
- Úhel měření: 30°
- Spouštěcí vstup Šířka pulzu: 10uS
- Rozměr: 45 mm x 20 mm x 15 mm
- Hmotnost: cca. 10 g

4.2.2 Modul pro sledování čar KY-033

Při počátečním dizajnu byla plánována kontrola trajektorie pomocí programované trasy. Toto řešení se ale ukázalo jako poměrně nestabilní a limitované proto se zvolila alternativa sledování černých čar, které budou značit vybranou trajektorii pro daný test. Řešení implementujeme pomocí trojice infračervených senzorů KY-033 umístěných na přední části karoserie. Na modulu se nachází vysílací a přijímací infračervená (IR) dioda TCRT5000, která je potažena speciálním filmem blokujícím viditelnost záření. Modul lze použít při detekci překážek nebo u robotů sledujících černou čáru.[23]

Parametry:

- Napájení: 3.3V – 5V
- Komparátor: LM393
- Rozsah: 1 mm až 25 mm
- Citlivost lze ladit potenciometrem
- Hmotnost: cca. 4 g



Obrázek 4.5:Infračervený senzor KY-033.[24]

4.3 Výběr pohonných prvků a napájení

4.3.1 DC motor pro pohyb platformy MOT235

Jako hlavní zdroj mobility demonstrátoru bude sloužit čtveřice DC motorků. Jde o DC motorky s napětím v rozmezí 3V - 6V, s převodem 1:48 pro zvětšení točivého momentu a variaci rychlosti. Pro funkci prototypu budou implementovány 4 jednotky, každá pro jedno samostatné kolo, co umožní samostatné variaci rychlosti všech kol. Řízení a napájení bude provedeno skrz jednotku LN298N a pomocí dvou Li-ion baterií typu 18650.[25]

Specifikace:

- Pracovní napětí: 3V-12V, doporučené napětí je do 6V
- Váha motoru: 50 g
- Rozměry motoru: 70 mm x 22 mm x 18 mm
- Redukční poměr: 48 : 1
- Hlučnost: < 65 dB
- Hmotnost: 24g



Obrázek 4.6:DC Motor MOT235.[26]

4.3.2 Servomotor pro pohyb senzoru pro vyhnutí se překážkám SG90

Pro funkci systému vyhýbaní překážek byl zvolen ultrazvukový senzor, který má ale limitovaný optimální rozsah, proto bylo navrženo řešení pomocí servomotoru. Nasazením senzorového modulu na variabilní servomotor je docíleno rozšíření plochy kterou pokrývá. Vybrán byl servomotor SG90 pro jeho jednoduchost a kompatibilitu s architekturou Arduino.[27] Použita knihovna Servo.h.[28]

Specifikace:

- Rozměry: 22mm x 11.5mm x 22.5mm
- Operační rychlost: 0.12sec/ 60° (4.8V bez nákladu)
- Točivý moment (4.8V): 17.5oz/in (1kg/cm)
- Doporučený teplotní rozsah: -30 až 60
- Operační napětí: 3.0V~7.2V
- Hmotnost: 14g



Obrázek 4.7: Servomotor SG90.[29]

4.3.3 Li-ion baterie 18650

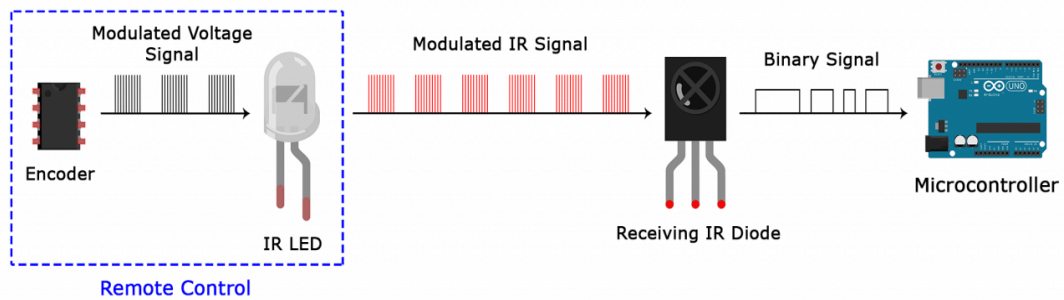
Jako zdroj napětí demonstrátoru byla vybrána dvojice lithium iontových baterií typu 18650.[30]

Specifikace:

- Chemie: Li-Ion
- Označení: 18650
- Použitelnost: Nabíjecí
- Pracovní napětí: 3.7V
- Výstupní napětí mezi 3V – 4.2V, dle úrovně nabití.
- Průměr: 18 mm
- Výška: 65 mm
- Kapacita: 2400mAh

4.3.4 Infračervený přijímač VS1838

Pro kontrolu pomocí dálkového ovládání byl využit modul typu VS1838, který je kompatibilní s deskou Arduino a tím plně schopen integrace do demonstrátoru. Funkce spočívá v detekci IR signálu pomocí diody a následnému odeslání těchto signálů do kontrolní desky pro zpracování.

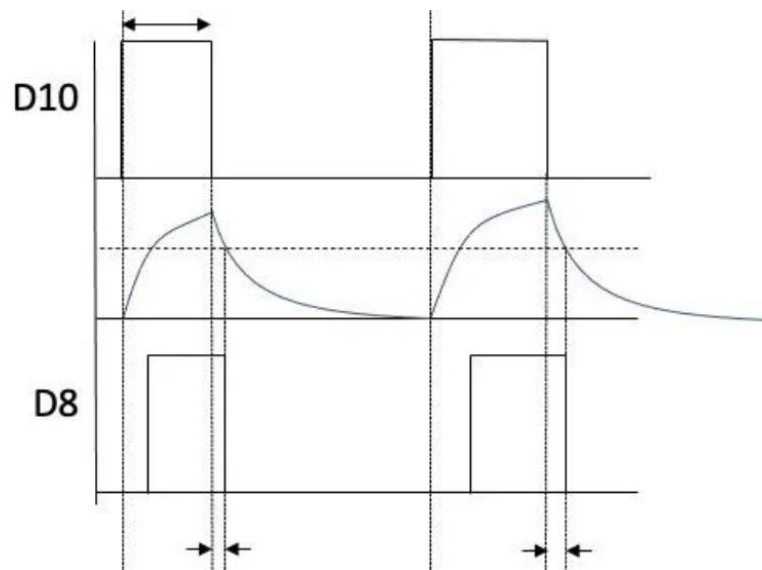


Obrázek 4.8: Funkce IR senzoru.[31] **Error! Reference source not found.**

4.4 Detektor kovu

Pro detekci cílů demonstrátoru bude využit systém detekci kovů na základu hledací cívky. Systém je řízený deskou Arduino, která je integrována do nosné platformy. Vybraný dizajn je výhodný v tom smyslu, že kromě mikrokontroleru Arduino vyžaduje jen velmi málo komponentů: společný kondenzátor a rezistor tvoří jádro spolu s vyhledávací cívkou, která se skládá ze 45 vinutí elektricky vodivého kabelu. Poté mohou být přidány LED diody nebo bzučák pro vizuální a akustickou detekci hledaného cíle.

Tento detektor kovů funguje tak, že vysílá impulsy do dolní propusti tvořenou z hledací cívky a elektrolytického kondenzátoru. Arduino měří zpoždění mezi vstupním impulsem na pinu deset a výstupním impulsem cívky na pinu osm. Toto zpoždění je úměrné indukčnosti hledací cívky. Vodič v blízkosti cívky sníží svou indukčnost, protože vířivé proudy působí proti vnějšímu magnetickému poli cívky a právě to opoždění je detekováno Arduinem.[32]

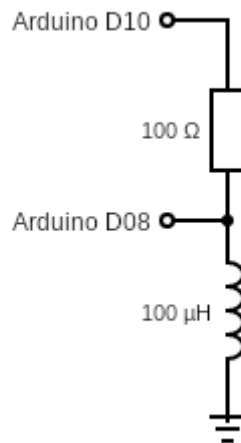


Obrázek 4.9: Princip funkce

Problém je ale v tom, že toto zpoždění je velmi krátké: charakteristický čas obvodu RL je $\tau=L/R$, s indukčností v Henry a odporu v Ohmech. Indukčnost cívky, kterou používáme, je přibližně 200 uH, takže pro odpor 100 Ohm, to znamená, že τ je 2 mikrosekundy. Hledáme variace v indukčnosti 1 ku 5000, takže čas je třeba měřit s přesností lepší než 1 nanosekunda.

Arduino má taktovací frekvenci 16 MHz a funkce zachycování vstupu Timer1 poskytuje časový moment změny pinů s přesností na 1 hodinový cyklus[33]. Jedno takové měření není dostatečně přesné, ale kombinací velkého počtu měření lze přesnost zlepšit. Jednoduché opakování měření však pro zlepšení citlivosti nestačí, protože kvantizační chyba je vždy stejná: pokud se zpoždění změní z řekněme 3,03 na 3,02 mikrosekundy, zpoždění je každých 48 hodinových cyklů. Abychom to překonali, měříme načasování sestupné hrany krátkého pulzu a skenujeme délku tohoto pulzu mezi 3 a 5 násobkem hodnoty původně zjištěného zpoždění. Cílem kódu je měřit indukčnost 100-krát za sekundu, aby byla odezva rychlá. Pro zpoždění pulsu 25 hodinových cyklů se časovač nastaví na opakování každých 215 hodinových cyklů, takže za 10 ms lze 15-krát opakovat úplné skenování 50 délek pulsů a součtové zpoždění 750 pulsů. Při spuštění se první měření bere jako referenční hodnota. Kdykoli se měření liší o více než předem definovaný

práh, začne se počítadlo fáze zvyšovat. Když počítadlo fáze překročí maximum, na bzučáku se ozve tikot. Pro rozdíly přímo na prahu je frekvence 1 Hz, pro rozdíly desetinásobné prahové hodnoty bude frekvence 10 Hz atd. Prahová hodnota je určena jako referenční měření děleno hodnotou „citlivostí“. Takže nastavení „citlivostí“ na 1000 znamená, že detektor bude reagovat na změny v indukčnosti 10^{-3} .



Obrázek 4.10: Schéma detektoru

4.5 Programování Demonstrátoru

4.5.1 Pohyb po trajektorii a vyhnutí se překážkám

Na pohyb po trajektorii využíváme připravenou dráhu ze černých čar, které jsou sledovány pomocí tří infračervených senzorů. Tyto senzory sledují změny barvy pod nimi, v případě černé dráhy pod pravým senzorem, vozidlo odbočí doprava, v případě rovné dráhy zůstává trajektorie rovná a v posledním případě změni směr doleva.

Díky konfiguraci čtyř kol a kontrolním prvkům je možná samostatná kontrola všech čtyř kol pomocí tohoto kódu, v kterém podle požadovaného směru měníme signál na pinech IN1 až IN4. Pomocí definované proměnné CarSpeed také měníme rychlost. Pro vyhnutí se překážkám je využit ultrazvukový senzor spolu s servomotorem. Funkce detekčního systému je založena na detekci objektu v cestě vozidla, při detekci překážky se zapíná servomotor a vykoná „sweep“ okolí pro další možné překážky a tím vybere

vhodnou cestu pro vyhnutí se překážkám. Využito v skriptech Programmed_Movement.ino, Trace_Move_And_Avoid.ino a IR_Movement.ino.

4.5.2 Dálkové ovládání

Ovládání pomocí infračerveného ovladače je realizováno pomocí dekodování modulovaného IR signálu do dekadické formy pomocí skriptu IR_Debug.ino a následného využití těchto kódů v IR_Movement.ino pro kontrolu pohybu demonstrátoru.

Příklady dekodovaných výstupů senzorů:

- Tlačítko vpřed:

Hex: 0xFF18E7

Dec: 16718055

- Tlačítko OK:

Hex: 0xFF38C7

Dec: 16726215

4.6 Výsledky praktického testování

4.6.1 Test Detektoru kovu

V této části bude testována schopnost detektoru kovu a jeho efektivita pro nalezení hledaného cíle v stacionární poloze bez nasazení na vozidle. Provedeny budou testy s vícerymi druhy překážek a tloušťky těchto překážek mezi hledací cívkou a hledaným objektem:

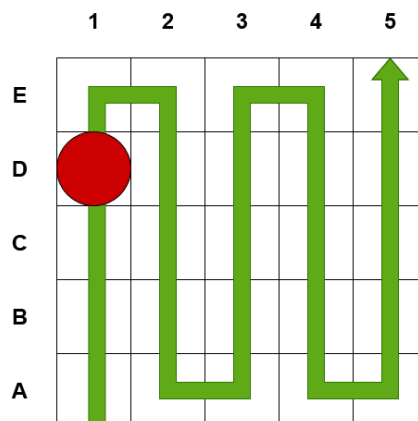
Test 0:

- Vzdálenost objektu od hledací cívky: 2cm
- Překážka: Žádná
- Výsledek: Očekávaná funkce zařízení

Test 1:

- Vzdálenost objektu od hledací cívky: 2cm
- Překážka: List A4
- Výsledek: Žádná změna efektivity oproti kontrolnímu testu

4.6.6 Sloupcový průzkum bez překážky



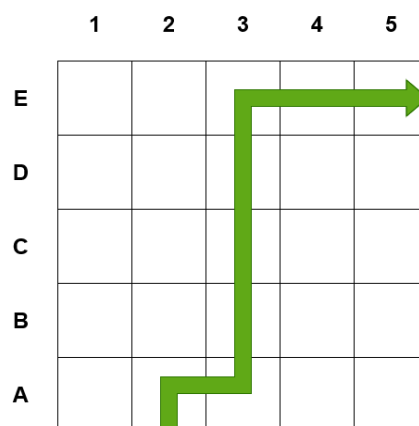
Obrázek 4.14: Trasa testu podle sloupců v poli buněk s překážkou.

Doba trvání: \approx 89 sekund

Obtížnost: Trajektorie obsahuje prudké zatáčky což způsobuje problémy při exekuci testu, při vyhýbání objektu docházelo k zacyklení demonstrátoru

Poznámky: Nevhodné pro plošné použití

4.6.7 Kopírování definované trasy



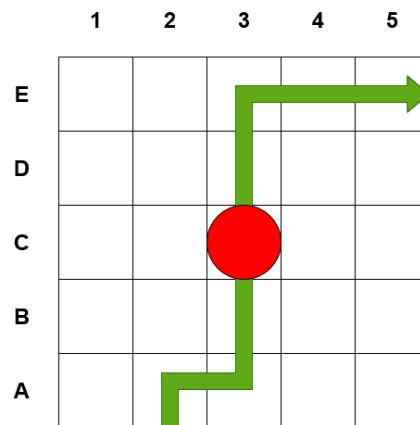
Obrázek 4.15: Trasa testu definované trasy.

Doba trvání: \approx 22 sekund

Obtížnost: Minimální obtížnost a nejefektivnější exekuce

Poznámky: Nejvhodnější pro plošné použití

4.6.8 Kopírování definované trasy s překážkou



Obrázek 4.16: Trasa testu definované trasy.

Doba trvání: ≈ 28 sekund

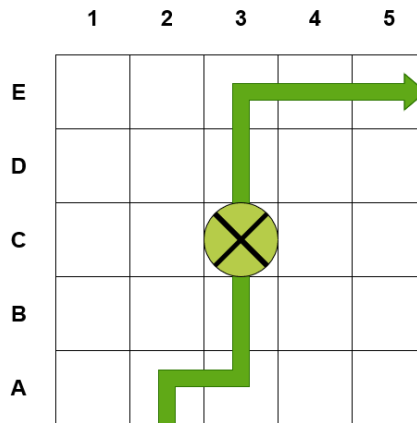
Obtížnost: Minimální obtížnost a nejefektivnější exekuce, prázdná plocha při obcházení objektu eliminuje riziko zacyklení.

Poznámky: Nejvhodnější pro plošné použití

4.7 Test funkce kompletního systému

4.7.1 Kopírování definované trasy s hledanými cíli

Pro konečnou trasu demonstrátoru byla vybrána definovaná trasa. V tomto testu bude testována plná funkce demonstrátoru v kontrolovaném prostředí spolu s simulovanými cíli, které má systém detekovat. Z důvodu citlivosti hledací cívky a nestabilní trajektorii systému v segmentech při módu sledování čar byla aplikována původní varianta předem programované trajektorie. Tato trajektorie je definována operátorem a naprogramována do paměti systému.



Obrázek 4.17: Trasa testu definované trasy pro finální test.

Video dokumentace: V přiloženém videu je dokumentována funkce zařízení dle testovacího scénáře. Systém fungoval v rámci očekávání. Video TEST 8 v příloze.

4.7.2 Ovládání pomocí IR ovladače

Poslední možná forma realizace systému je pomocí IR dálkového ovládání na kontrolu pohybu systému při přechode prostředím. Jde o nejflexibilnější kontrolní metodu možnou pro konkrétní aplikaci systému. Operátor ručně specifikuje trajektorii systému. Při této realizaci není potřebná aplikace vyhýbaní se překážkám a spolu s uvolněními slotů senzorů sledování čar umožňuje plnou funkci systému. Flexibilita této varianty ji značí jako nejvýhodnější pro demonstrační využití z důvodu materiální a logistické jednoduchosti díky eliminaci přípravy dráhy pro následování pomocí senzorů. Využita je knihovna IRremote[34]. Pomocí skriptu IR_Debug.ino byli dekodovány všechny kódy ovladače pro využití jako kontrolní prvek demonstrátoru. Dekodovány a využity jsou v decimální podobě pro jednoduchost použití. Systém fungoval v rámci očekávání. Dokumentační video TEST 9 v příloze.

4.8 Souhrn výsledků

Vozidlo splňuje všechny požadavky v akceptovatelné míře s minimálními komplikacemi, tyto komplikace jsou často tvořeny volnými tolerancemi komponentů jako se dělo při testování přechodu trajektorií, kde občas docházelo ke zacyklení demonstrátoru při oběhu překážky a přjetí sousedící čáry, kterou systém zaznamenal a pokusil se ji následovat. Tento problém byl ale eliminován v případě definované trasy. V této variantě nebyly žádné čáry v bode vyhnutí a tím nedošlo k žádné komplikaci.

V oblasti detekce hledaných objektů také došlo k změně dizajnu. Původní detektor pracoval na základe spodní propusti sledováním analogových pinů desky Arduino, tato realizace byla v praxi často rušena a vydávala falešné pozitivní nálezy, proto byla nahrazena variantou, která sleduje změnu časování digitálních vstupů s citlivější cívkou, z důvodu nedostatku digitálních pinů na používané desce byl poslední test změněn a nebude obsahovat vyhnutí se překážce, piny ovládající ultrazvukový detektor budou použity pro funkci detektoru kovu. Obě funkce byly ověřeny samostatně z čeho vyplívá že na možné alternativní varianta demonstrátoru s většími proporcemi, by byly funkční obě.

Při posledním testu demonstrátoru často docházelo k nedostatečným měřením způsobených rychlím průchodem systémů, který způsobili limitace stylu sledování trajektorie pomocí infračervených senzorů. Toto není výhodné pro testovací podmínky a proto byla zvolena náhradní varianta navigace pomocí naprogramované trajektorie nebo kontroly pomocí dálkového ovládání, obě varianty fungovali s dostačující přesností pro demonstraci konceptu. Testování potvrdilo hypotézy vytvořeny pomocí simulačních profilů.

Nejefektivnější metodou se znovu ukázala programovaná trajektorie, ale na rozdíl od simulací se projevila výhodnější trajektorie spirálová oproti sloupcovému průzkumu, tato varianta byla komplikována ostrými změnami trajektorie co způsobilo časté straty hledané čáry a zpomalení průchodu zařízení.

Implementace ovládání pomocí dálkového ovladače pro demonstrační účely se projevila jako efektivní řešení problematiky řízení pohybu s limitovaným časem.

5. ZÁVĚR

Navazujícím cílem Bakalářské práce bylo zkoumat simulované metody dále pomocí implementace do funkčního prototypu systému v různých reálných situacích a výsledky těchto testů porovnat s předpoklady, které vycházejí z teoretického základu a simulačních výsledků. Hlavní částí bakalářské práce je sestavení prototypu, implementace algoritmů na základě výsledků simulací a funkce kompletního systému podle specifikovaných parametrů. Také došlo ke implementaci metody pro vyhýbaní se překážkám na testovacím poli pomocí ultrazvukového senzoru.

Výsledky praktické realizace a testování ukázali funkčnost dizajnu ve připravených scénářiích, které prokázali nálezy simulací praktické části semestrální práce. Typ chování s programovanou trajektorií byl nejefektivnější a také měl nejméně problémů v testovacím prostředí. Tento styl trasy byl také použit pro finální test, který byl ale mírně pozměněn z důvodu změny architektury detektoru kovu. Finální test neobsahoval vyhnutí se překážce z důvodu nedostatku digitálních pinů a prostoru na demonstrátoru. Obě funkce byly ale otestovány samostatně, což znamená že by byly funkční na alternativní společné platformě. Systém pro hledání kovů prošel testováním a prokázal svou funkci i v nepříznivých podmínkách jako pokrytí hledaného objektu vrstvou písku nebo při finálním testu listem A4.

V průběhu dizajnu došlo k více změnám, hlavní byla změna dizajnu detektoru kovu z důvodu nadměrného množství falešných pozitiv způsobených nosnou platformou což mělo za následek změnu finálního demonstrátoru z důvodu nedostatku místa na nosné platformě a rozšíření o samostatný mikrokontroler pro operaci detektoru. Dílčí funkce ale byly všechny ověřeny v testovacích podmínkách, z důvodu limitace počtu funkčních prototypů byla pro konečnou demonstraci vybrána varianta s dálkovým ovládním pomocí IR ovladače. Při testování následování čar také došlo ke několika komplikacím. Hlavním nedostatkem byly nepředvídané oscilace způsobené hledacím algoritmem. V průběhu operace se demonstrátor mírně pohyboval ze strany na stranu, vždy když jeden z dvojice senzorů narazil na černou čáru a tím korigoval trajektorii, což způsobilo problémy s součástkami detektoru a jeho následné selhání, proto byla pro hlavní test vybrána varianta naprogramovaného pohybu, která eliminuje tyto otřesy. Dalším problémem bylo zacyklení senzorů při objíždění překážky a narazení na sousední čáru.

Tento problém by částečně eliminován v testování vlastní trajektorie, které sousední dráhy nejsou přítomny.

Nápadem pro budoucí vylepšení systému by mohla být expanze prostoru pro součástky pomocí fabrikace rámu 3D tiskem. Toto by umožnilo plnou implementaci všech funkcí. Dalším vylepšením by byla eliminace následování čar pomocí infračervených senzorů. Funkce by byla nahrazena kamerou s schopností rozeznávání objektů a spojení této funkce s funkcí vyhýbaní se překážkám a následnou eliminací ultrazvukového senzoru. Došlo by tím ke spojení dvou součástí do jedné a dále by se šetřilo místo na demonstrátoru. Ohledně pohonných systémů by šlo o instalaci všesměrných kol pro více možností směru pohybu. V případě komunikace, by se IR ovládání nahradilo komunikací pomocí Bluetooth pro průhlednější uživatelské rozhraní a schopnost ovládání všech funkcí na dálku spolu s vizualizací výsledků na jednom zařízení skrz uživatelské rozhraní.

LITERATURA

- [1] Božena 5 (odminovací zařízení). In: Válka.cz[online]. Dostupné z: <https://www.valka.cz/Bozena-5-odminovaci-zarizeni-t29817> [cit. 2023-10-21]
- [2] Mistral Hound - Mine Detection Drone. In: Mystal Solutions[online]. Dostupné z: <https://www.mistralsolutions.com/homeland-security/products/mistral-hound-mine-detection-drone/> [cit. 2023-10-21]
- [3] M58 Mine Clearing Line Charge. In: GlobalSecurity[online]. Dostupné z: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/m58-miclic.htm> [cit. 2023-10-21]
- [4] Tracks vs Wheels. In: Litetrax [online]. Dostupné z: <https://litetrax.com/wheels-vs-tracks-advantages-disadvantages/> [cit. 2023-11-12]
- [5] Multi-Chassis Tracked Robot. In: Robotshop[online]. Dostupné z: <https://www.robotshop.com/products/multi-chassis-tracked-robot-kit-tank-climber> [cit. 2023-10-21]
- [6] Steve Wheeled Camer, In: New Atlas[online]. Dostupné z: <https://newatlas.com/drones/steve-wheeled-camera-drone/#gallery:1> [cit. 2023-11-12]
- [7] Robot Car Arduino Bluetooth, smart robot, car, bluetooth png free download, In: PNG Egg. Dostupné z: <https://www.pngegg.com/en/png-ehmcl/download> [cit. 2023-11-12]
- [8] Arduino-based Mars Rover. In: Circuit Digest[online]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/build-your-own-mars-rover-robot-using-arduino>[cit. 2023-10-21]
- [9] Arduino UNO pinout. In: Arduino Docs[online]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3> [cit. 2023-11-15]
- [10] Using animals as detectors. In: No landmines[online]. Dostupné z: https://www.nolandmines.com/using_animals_as_detectors.html [cit. 2023-12-11]
- [11] HEMAPALA, Manjula Udayanga. Robots for Humanitarian Demining. [Online]. In: CANBOLAT, Hüseyin (ed.). *Robots Operating in Hazardous Environments*. InTech, 2017. ISBN 978-953-51-3679-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.70246>. [cit. 2023-11-12].

- [12] Modelářské elektromotory 1. díl. In: Hobix[online]. Dostupné z: [Modelářské elektromotory - 1. díl - Hobix.cz](https://www.hobix.cz/modelarske-elektromotory-1-dil) [cit. 2023-12-13]
- [13] What is Electronic Speed Control (ESC) and its Working. In: Elprocus[online]. Dostupné z: [Electronic Speed Control \(ESC\) : Circuit, Types, Working & Its Applications \(elprocus.com\)](https://www.elprocus.com/electronic-speed-control-esc-circuit-types-working-applications/) [cit. 2023-12-13]
- [14] HR-S04 Datasheet. In: Alldatasheet.com [online]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132204/ETC2/HCSR04.html> [cit. 2023-4-16]
- [15] The Origins of Matlab. In: Mathworks[online]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/the-origins-of-matlab.html> [cit. 2023-12-13]
- [16] The Origins of Matlab. In: Mathworks[online]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/the-origins-of-matlab.html> [cit. 2023-12-13]
- [17] Arduino Pinout, In Arduino Online Shop [online]. Dostupné z: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3> [cit. 2024-04-17]
- [18] Arduino UNO datasheet. In: Arduino Docs[online]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf> [cit. 2024-04-24]
- [19] Arduino Sensor shield V5. In: Arduino Forum [online]. Dostupné z: <https://europe1.discourse-cdn.com/arduino/original/4X/2/6/4/264e95b52691d3fd0be8281803af38c29cf4a1a8.jpeg> [cit. 2024-04-24]
- [20] Arduino Sensor shield V5. In: Curtocircutio[online]. Dostupné z: https://curtocircuito.com.br/datasheet/arduino_sensor_shield.pdf [cit. 2024-04-24]
- [21] LN982. In Components 101 [online]. Dostupné z: <https://components101.com/modules/l293n-motor-driver-module> [cit. 2024-04-24]
- [22] SR04.h, In Arduino [online]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/hc-sr04/> [cit. 2024-04-19]
- [23] TCRT5000. In: Vishay.com [online]. Dostupné z: <https://www.vishay.com/search/?searchChoice=part&query=TCRT5000> [cit. 2023-4-16]

- [24] KY-033. In: Techfun.sk [online]. Dostupné z: <https://techfun.sk/wp-content/uploads/2021/06/a-6.jpg> [cit. 2023-4-16]
- [25] MOT 235. In Techfun.sk [online]. Dostupné z: <https://techfun.sk/en/product/dc-motorcycle-with-direct-transmission/> [cit. 2024-04-17]
- [26] MOT 235. In Techfun.sk [online]. Dostupné z: <https://techfun.sk/wp-content/uploads/2018/03/DC-motorcek-s-prevodovkou-priamy.jpg> [cit. 2024-04-17]
- [27] SG90. In Techfun.sk [online]. Dostupné z: <https://techfun.sk/en/product/servo-motor-sg90/> [cit. 2024-04-17]
- [28] Servo.h, In Arduino [online]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/servo/> [cit. 2024-04-19]
- [29] SG90. In Techfun.sk [online]. Dostupné z: <https://techfun.sk/wp-content/uploads/2017/09/A-1.png> [cit. 2024-04-17]
- [30] 18650 LiFePO4 battery 3.2V. In Techfun.sk [online]. Dostupné z: <https://techfun.sk/en/product/18650-lifepo4-battery-3-2v/> [cit. 2024-04-17]
- [31] IR Diode Function. In: Circuitsbasic [online]. Dostupné z: <https://www.circuitbasics.com/wp-content/uploads/2017/05/Arduino-IR-Remote-Receiver-Tutorial-IR-Signal-Modulation.png> [cit. 2024-05-14]
- [32] Eddy currents. In: UniWest [online]. Dostupné z: <https://uniwest.com/resources/eddy-current-principles/> [cit. 2024-04-24]
- [33] Arduino UNO datasheet. In: Arduino Docs[online]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf> [cit. 2024-04-24]
- [34] IRremote.h, In: Arduino [online]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/irremote/> [cit. 2024-04-19]

Seznam symbolů a zkratek

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
GUI	Graphic User Interface
MILIC	Mine Line Clearing Charge
IDE	Integrated Desktop Enviroment
ESC	Electric Speed Controller
BLDC	Bezkartáčový elektromotor
H	Henry
V	Volt
A	Ampér
PWM	Pulse Width Modulation
cm	Centimetr
ms	Milisekunda
IR	Infrared(Infračervený)

SEZNAM PŘÍLOH

ELEKTRONICKÁ PŘÍLOHA OBSAHUJE IMPLMENTACI ZDROJOVÉHO KÓDU
PRO SIMULACI DEMONSTRÁTORU SYSTÉMU PRO DETEKCI MIN.

/.....adresář přiloženého archivu

MATLAB

Sim_Menu.mlapp
Sim_GUI_1.mlapp
Sim_GUI_2.mlapp
Sim_GUI_3.mlapp
Sim_1.m
Sim_1_1.m
Sim_1_2.m
Sim_2.m
Sim_2_1.m
Sim_2_2.m
Sim_3.m
Sim_3_2.m
Sim_3_3.m
Path_Collumn.png
Path_Spiral.png
Path_Custom.png
Path_Custom2.png
Path_Custom3.pnh

Demonstrator Firmware

Detektor.ino
IR_Debug.ino
IR_Movement.ino
Programmed_Movement.ino
Trace_Move_And_Avoid.ino

VIDEA

Test 8(Finální test): <https://youtu.be/ha4NX5DmKMk>

Test 9(Test dálkového ovládání): <https://youtu.be/IDlyZmDxIdg>