

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

MOBILNÍ ROBOT MICROMOUSE

Kamil Špicar

Bakalářská práce
2022

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Kamil Špicar**
Osobní číslo: **I19043**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Téma práce: **Mobilní robot Micromouse**
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je návrh a realizace mobilního robota soutěžní kategorie micromouse pro výukové potřeby se zaměřením na konstrukci mobilních robotů a testování řídicích algoritmů.

V teoretické části práce bude provedena rešerše zadaného tématu se zaměřením na dostupné, komerčně vyráběné, mobilní roboty uvedeného typu. Následně bude proveden podrobný popis technického řešení stavebnicové koncepce mobilního robota typu micromouse. Bude podrobně popsána koncepce nejčastěji používaných senzorů a akčních členů.

V praktické části práce bude provedeno sestavení 3D modelu navrženého mobilního robota v 3D CAD software DesignSpark Mechanical. Realizace bude provedena na úrovni prototypového řešení a jeho testování vytvořením sady komentovaných demonstračních kódů mikropočítače. Realizace konstrukce robota zahrnuje i návrh a zhotovení testovacího prostředí robota standardizovaného typu (vodící dráhy pohybu robota, modulárního bludiště atp.). Součástí práce bude kompletní výrobní dokumentace mobilního robota, výukový materiál demonstračních úloh ve formě podrobných návodů a okomentovaných zdrojových kódů.

Rozsah pracovní zprávy: **40**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

MATOUŠEK, D., Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4

ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4

NOVÁK, P., Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení. Vyd. 1. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 247 s. ISBN 80-730-0141-1.

MAIXNER, L. a kol., Mechatronika, Brno, Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1299-3

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **17. prosince 2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2022**

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Daniel Honc, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 7. ledna 2022

Prohlášení

Prohlašuji:

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

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

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

V Pardubicích dne 10. 5. 2022

Kamil Špicar

Poděkování

Děkuji své rodině za podporu nejen při tvorbě této bakalářské práce, ale i v průběhu celého mého dosavadního studia. Dále děkuji vedoucímu práce Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D. za odborný dohled.

V Pardubicích dne 10. 5. 2022

Kamil Špicar

ANOTACE

Cílem práce je návrh a realizace mobilního robotu typu micromouse pro výukové účely zaměřené na řešení čárového bludiště. Robot byl realizován na platformě Arduino a jeho periferie sestaveny z volně dostupných, komerčně vyráběných, modulů. Byl vytvořen 3D model konstrukce navrženého mobilního robotu, na jehož základě byl realizován jeho prototyp. Dále bylo zhotoveno modulární bludiště pro účely testování demonstračních kódů. K robotu byl vytvořen montážní manuál a laboratorní úlohy zaměřené na řídicí algoritmy.

KLÍČOVÁ SLOVA

mobilní robot, Micromouse, řešení bludiště, robot sledující čáru, Arduino.

TITLE

MOBILE ROBOT MICROMOUSE

ANNOTATION

This thesis aims to design and create a micromouse mobile robot for educational purposes with a focus on line-maze solving. The robot was based on the Arduino platform, and its peripherals were assembled from freely available commercially produced modules. A 3D model of the robot's design, based on which the prototype was made, was created. Furthermore, a modular maze was made for demonstration codes testing. Assembly manual and laboratory tasks focusing on control algorithms were created for the robot.

KEYWORDS

Mobile robot, Micromouse, Maze solving, Line follower, Arduino.

OBSAH

Seznam zkratk a značek	11
Seznam symbolů proměnných veličin a funkcí	12
Seznam ilustrací	13
Seznam tabulek	15
Úvod	16
1 Teoretická část	17
1.1 Charakteristika robotu typu micromouse	17
1.1.1 Pravidla soutěží robotů typu micromouse	17
1.1.2 Komerčně vyráběné roboty vhodné pro micromouse soutěže	19
1.2 Konstrukční řešení robotu typu micromouse	21
1.2.1 Napájení	21
1.2.2 Řídicí jednotka	23
1.2.3 Systém ovládání	23
1.3 Senzorický systém	25
1.3.1 Interní senzory	26
1.3.2 Externí senzory	27
1.4 Akční systém	29
1.4.1 Kartáčové stejnosměrné motory	29
1.4.2 Bezkartáčové stejnosměrné motory	30
1.4.3 Řízení otáček kartáčových motorů	31
2 Realizace testovacího prostředí	33
3 Realizace hardwaru prototypu	36
3.1 Vybrané moduly	36
3.1.1 Akumulátory	36
3.1.2 Arduino Uno	38
3.1.3 Ovládání a indikace	39
3.1.4 Senzory	41
3.1.5 Motory	42
3.1.6 Řadič motorů	43
3.2 Návrh mechanické konstrukce	45
3.2.1 Návrh zapojení	45
3.2.2 Návrh podvozku	48

4	Realizace softwaru prototypu	52
4.1	Algoritmus řešení bludiště	52
4.1.1	Hledání cesty	52
4.1.2	Zjednodušení cesty	53
4.2	Hlavní smyčka programu	56
4.3	Bluetooth komunikace	60
4.4	Čtení stavu senzorů	61
4.5	Vyhodnocování dat ze senzorů	62
4.5.1	Dekódování v režimu Learn	63
4.5.2	Dekódování v režimu Race	70
4.5.3	Dekódování v režimu Linefollow	76
4.6	Řízení motorů	77
4.7	Regulace jízdy po čáře	81
5	Zhodnocení	83
6	Závěr	84
	Použitá literatura	85
	Přílohy	88

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

3D	trojrozměrný
AVR	Alf Vegard RISC procesor
FDM	modelování depozicí taveniny
FFF	modelování z tavených vláken
FHSS	mezifrekvenční přeskokování v rozprostřeném spektru (metoda přenosu)
GND	uzemnění
IDE	integrované vývojové prostředí
IEEE	institut inženýrů elektrotechniky a elektroniky
IR	infračervený (senzor)
ISM	průmyslové, vědecké a zdravotnické (frekvenční pásmo)
LCD	displej z tekutých krystalů
LED	dioda emitující světlo
Li-Ion	lithium-iontový (akumulátor)
MOSFET	kov-oxid-polovodič unipolární tranzistor
NiCd	nikl-kadmiový (akumulátor)
NiMH	nikl-metal hydridový (akumulátor)
PD	proporcionálně derivační (regulátor)
PETG	polyethylentereftalát glykol (filament)
PID	proporcionálně integračně derivační (regulátor)
PWM	pulzně šířková modulace
RGB	červená-zelená-modrá (dioda emitující světlo)
RISC	procesor s redukovanou instrukční sadou
RX	přijímací (vstupní pin USART)
SAC	konference studentských aktivit
TX	vysílací (výstupní pin USART)
USART	synchronní / asynchronní přijímač / vysílač (zařízení pro sériovou komunikaci)
USB	univerzální sériová sběrnice
VIN	napěťový vstup

SEZNAM SYMBOLŮ VELIČIN A FUNKCÍ

P	proporcionální složka
I	integrační složka
D	derivační složka
k	pořadí diskrétního kroku
e	odchylka od žádané hodnoty
u	akční veličina
K_P	zesílení proporcionální složky
K_I	zesílení integrační složky
K_D	zesílení derivační složky

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Čárové bludiště (Pololu, 2022)	18
Obr. 1.2 – Stěnové bludiště (Osamu Iwasaki, 2008)	18
Obr. 1.3 – Robot 3pi Original firmy Pololu (Pololu, nedatováno)	19
Obr. 1.4 – Robot PICone firmy PICAXE (PICAXE, nedatováno)	20
Obr. 1.5 – Blokové schéma mobilního robotu	21
Obr. 1.6 – Li-Ion články v provedení 18650	22
Obr. 1.7 – Vývojová deska Arduino Uno R3	23
Obr. 1.8 – Modul IR dálkového ovládání (ECLIPSE, 2016)	24
Obr. 1.8 – Bluetooth modul HC-06	25
Obr. 1.9 – Signály generované kvadraturním inkrementálním enkodérem (Siegwart, 2004)	26
Obr. 1.10 – Princip infračervených senzorů (Novák, 2005)	27
Obr. 1.11 – Reflektivní senzor TCRT5000 (Vishay, 2022)	28
Obr. 1.12 – Princip kartáčového stejnosměrného motoru (Wikimedia Commons, 2008).....	29
Obr. 1.12 – Princip bezkartáčového stejnosměrného motoru (Renesas, nedatováno)	30
Obr. 1.13 – Průběh PWM signálu se střídou 60 %	31
Obr. 1.14 – Můstkový spínač	32
Obr. 2.1 – Všechny možné typy bloků čárového bludiště	33
Obr. 2.2 – Návrh čárového bludiště jako testovacího prostředí	34
Obr. 2.3 – Vybraná řešení navrženého bludiště	34
Obr. 2.4 – Barevné znázornění rozdělení bludiště na stavební bloky	35
Obr. 2.5 – Fotografie realizovaného bludiště	35
Obr. 3.1 – Blokové schéma prototypu	36
Obr. 3.2 – Modul 3S3A pro ochranu Li-Ion baterií	37
Obr. 3.3 – Box pro uložení dvojice akumulátorů 18650 v sérii	37
Obr. 3.4 – Schéma zapojení obvodu napájení vývojové desky Arduino Uno	38
Obr. 3.5 –Prostředí aplikace Serial Bluetooth Terminal	39
Obr. 3.6 –RGB LED modul KY-016 od firmy KEYES	40
Obr. 3.7 – Schéma zapojení RGB LED modulu KY-016	40
Obr. 3.8 – Moduly s infračerveným reflektivním senzorem TCRT5000	41
Obr. 3.9 – Kartáčové motory G12-N20	42
Obr. 3.10 – Schéma zapojení řadiče s L298N	43
Obr. 3.11 – Modul pro řízení motorů s L298N	44

Obr. 3.12 – Blokové schéma zapojení prototypu	45
Obr. 3.13 – Mini nepájivé pole	46
Obr. 3.14 – Všesměrová kulička a kola robotu	48
Obr. 3.15 – Pohledy na design podvozku pro 3D tisk	49
Obr. 3.16 – Porovnání prázdného podvozku a kompletního robotu	50
Obr. 3.17 – Popis realizovaného prototypu	50
Obr. 3.18 – Pohled na spodní část podvozku	51
Obr. 4.1 – Ukázka zjednodušení naučené cesty	54
Obr. 4.2 – Vývojový diagram algoritmu pro zjednodušení cesty	55
Obr. 4.3 – První část vývojového diagramu hlavní smyčky programu	57
Obr. 4.4 – Druhá část vývojového diagramu hlavní smyčky programu	58
Obr. 4.5 – Třetí část vývojového diagramu hlavní smyčky programu	59
Obr. 4.6 – Vývojový diagram funkce pro Bluetooth komunikaci	60
Obr. 4.7 – Vývojový diagram funkce pro čtení stavu senzorů	61
Obr. 4.8 – Ukázka stavů senzorů při detekci některých prvků cesty	62
Obr. 4.9 – První část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Learn	64
Obr. 4.10 – Druhá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Learn	65
Obr. 4.11 – Třetí část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Learn	66
Obr. 4.12 – Čtvrtá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Learn	67
Obr. 4.13 – Pátá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Learn	68
Obr. 4.14 – Šestá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Learn	69
Obr. 4.15 – První část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Race	70
Obr. 4.16 – Druhá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Race	71
Obr. 4.17 – Třetí část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Race	72
Obr. 4.18 – Čtvrtá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Race	73
Obr. 4.19 – Pátá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Race	74
Obr. 4.20 – Šestá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Race	75
Obr. 4.21 – První část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Linefollow	76
Obr. 4.22 – Druhá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Linefollow	77
Obr. 4.23 – Vývojový diagram funkce pro vypnutí motorů	77
Obr. 4.24 – Vývojový diagram funkce pro zatočení doprava	78
Obr. 4.25 – Vývojový diagram funkce pro zatočení doleva	79
Obr. 4.26 – Vývojový diagram funkce pro otočení o 180°	80
Obr. 4.27 – Vývojový diagram funkce regulace otáček motorů	82

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 – Logika řízení spínacím můstkem L298N	44
Tab. 3.2 – Propojení periférií s vývojovou deskou	47
Tab. 4.1 – Nahrazovací pravidla při zjednodušení naučené cesty	54
Tab. 4.2 – Příkazové znaky a jejich význam	61
Tab. 6.1 – Technické specifikace realizovaného robotu	84

ÚVOD

Mobilní roboty stále nabývají na popularitě a v poslední době stále více pronikají jak do průmyslu, tak do běžných domácností. V průmyslu se uplatňují hlavně v oblasti logistiky například jako autonomní paletové vozíky. V domácnostech jde zase často o autonomní vysavače či sekačky. Vzhledem k rostoucímu průměrnému věku populace se do budoucna jistě objeví i ve formě tzv. robotů pečovatelů, jejichž úkolem bude zmírnit nevyhnutelný nápor na pečovatele a pečovatelské služby a usnadnit každodenní život starší generaci. Není tedy pochyb o tom, že bude třeba více specialistů v tomto odvětví automatizace.

Předpokládaným výsledkem této práce je návrh a z něho realizovaný prototyp jednoduchého mobilního robotu, který by mohl být pro studenty jedním z prvních kroků ke zmíněné specializaci. Aby byl projekt co nejpřístupnější, bude robot realizován na platformě Arduino. Tato platforma je vhodnou volbou pro vytváření projektů pro studijní účely, protože pro ni existuje nepřehledné množství volně dostupných komerčně vyráběných periférií a rozšiřujících modulů. A právě z těchto modulů má být robot sestaven. Tato stavebnicová koncepce má pro studenty výhodu v tom, že je možné dílčí periferie či Arduino samotné z projektu vyjmout a použít je v projektu jiném. K robotu budou vytvořeny demonstrační algoritmy zaměřené na řešení čárového bludiště a také na optimalizaci jízdy po čáře. Pro účely testování těchto algoritmů bude zhotoveno modulární čárové bludiště.

1 TEORETICKÁ ČÁST

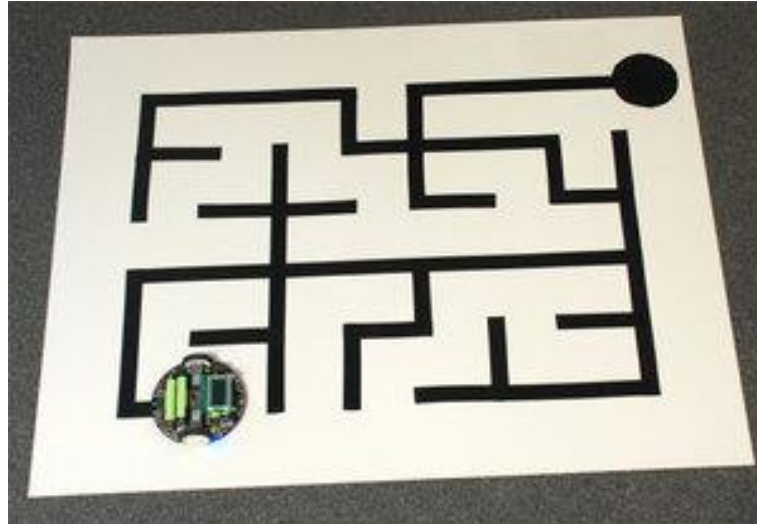
1.1 CHARAKTERISTIKA ROBOTU TYPU MICROMOUSE

Robot typu micromouse je soutěžní mobilní robot malých rozměrů, jehož účelem je najít cestu skrz neznámé bludiště bez využití externího navigačního systému a poté ho projet co nejrychleji. Omezující parametry pro konstrukci tohoto typu robotu vždy stanovuje pořadatel soutěže v pravidlech a nemusí být proto vždy stejné. Pravidla obvykle definují průběh soutěže, typ bludiště a omezení pro konstrukci robota.

1.1.1 Pravidla soutěží robotů typu micromouse

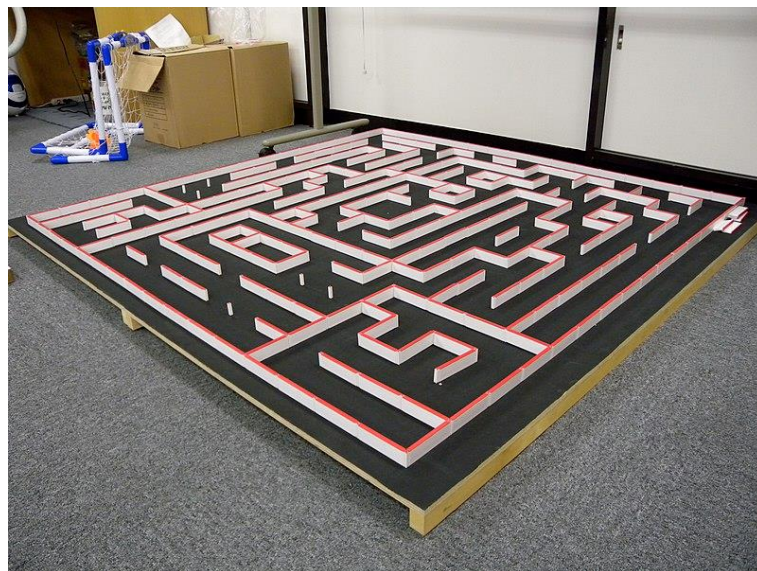
Pravidla soutěží v řešení bludišť roboty jsou vzájemně velmi podobná. Například pravidla soutěže konané v rámci konference IEEE Region 2 SAC na Univerzitě v Pittsburghu v roce 2018 byla následující. Každý účastník soutěže má přístup k bludišti po dobu deseti minut. Během tohoto časového intervalu se robot musí bludiště sám naučit a poté ho projet v co nejkratším čase. Počet pokusů je omezen pouze daným časovým limitem. Po uplynutí intervalu je započítán nejrychlejší zajatý čas. Čas každé jízdy je měřen od momentu opuštění startovního bloku do momentu, kdy kterákoli část robota přesáhne do cílového bloku. Pokud se robot během jízdy dostane zpět na startovní blok, je jeho předchozí jízda neplatná a nová začne, jakmile znovu opustí startovní blok. Robot může být po dojetí do cíle přemístěn zpět na startovní blok ručně soutěžícím, nebo může zpátky ke startovnímu bloku dojet sám, a přitom hledat alternativní cestu. Soutěžící může robot z bludiště vyjmout a přemístit zpět na startovní blok, i když nedojel do cíle, ale v takovém případě je přerušena jízda neplatná a následující jízda obdrží penaltu v délce 30 sekund. Jakmile je bludiště odhaleno, nesmí soutěžící nijak zasahovat do řídicího softwaru robota. Do hardwaru nesmí zasahovat s výjimkou přepínání mezi algoritmy pomocí přepínače, tlačítek nebo k tomu určeného ovládacího zařízení, výměny baterií, upravení senzorů, změny rychlostních nastavení a nezbytných oprav. Tyto výjimky neplatí, pokud by došlo ke změně hmotnosti robota. Zásahy do hardwaru nesmí proběhnout během jízdy bludištěm (Misra, 2018).

Pravidla také vždy definují bludiště. Soutěžní bludiště mohou být koncipována různě a mohou mít různé rozměry, ale obecně je možné je rozdělit na bludiště čárová a bludiště stěnová. Oba typy jsou obvykle bez převýšení a bez smyček. Oba zmíněné typy bludišť bývají sestaveny ze čtvercových bloků. Na obr. 1.1 je příklad provedení menšího testovacího čárového bludiště a na obr. 1.2 příklad soutěžního stěnového bludiště.



Obr. 1.1 – Čárové bludiště (Pololu, 2022)

Na každém z těchto bloků, s výjimkou startovního a cílového, je jeden z definovaných rozhodovacích bodů, tj. rovinka, zatáčka nebo křižovatka. Startovní blok se obvykle značí čarou kolmou ke směru jízdy, nebo se fyzicky neznačí vůbec. Cílový blok je značen čtyřúhelníkem nebo kruhem. Do stěnového bludiště mohou být do startovního a cílového bloku umístěny senzory pro přesnější měření času (UKMARS, 2019).



Obr. 1.2 – Stěnové bludiště (Osamu Iwasaki, 2008)

Z pravidel soutěže vychází také konstrukční omezení soutěžního robotu. Robot musí být při řešení bludiště a jízdě skrz něj plně autonomní. To znamená, že nesmí být dálkově ovládán nebo využívat externího navigačního systému. Robot za sebou během jízdy bludištěm nesmí zanechat žádnou svou část. Robot musí bludištěm projíždět zamýšleným způsobem, který je dán typem a konstrukcí bludiště. V případě čárového bludiště nesmí opustit vodící linii a v případě stěnového zase nesmí přelézat, přeskakovat nebo přelétávat stěny. Robot nesmí bludiště nijak poškozovat, označovat nebo jinak modifikovat ve svůj prospěch. Robot může během jízdy měnit svůj tvar, ale jeho konstrukce nesmí přesáhnout 25 cm ve své délce a šířce. Výška konstrukce není omezena (Misra, 2018).

1.1.2 Komerčně vyráběné roboty vhodné pro micromouse soutěže

Existuje mnoho komerčně vyráběných robotů ve formě stavebnic, které jsou obvykle schopny po přeprogramování nebo jednoduché hardwarové modifikaci vykonávat řadu činností, ale na žádnou z nich se nespécializují. Tato koncepce je samozřejmě vhodnější pro začátečníky, kteří chtějí nahlédnout do různých odvětví robotického řízení. Oproti tomu komerčně vyráběných robotů, které se specializují na řešení bludišť, je velmi málo. Kromě omezeného repertoáru funkčních zaměření by důvodem mohl být fakt, že nedílnou součástí soutěží je vlastní realizace robotu na základě konkrétních pravidel, jak je zřejmé z kapitoly 1.1.1. Komerčně vyráběné roboty tedy v takové soutěži nepřípadají v úvahu, a i kdyby byly povoleny, není zaručeno, že budou schopny řešit zadané soutěžní bludiště. Roboty specializované na řešení bludišť jsou totiž vždy konstruovány se zaměřením na konkrétní typ nebo provedení bludiště. Dostupné komerčně vyráběné roboty se obvykle dělí podle typu bludiště, které jsou schopny řešit. Jsou to roboty pro řešení čárového a stěnového bludiště.



Obr. 1.3 – Robot 3pi Original firmy Pololu (Pololu, nedatováno)

Příkladem robotu specializovaného na čárové bludiště může být robot 3pi Original firmy Pololu, jenž je na obr. 1.3. Jde o vysoce výkonnou mobilní platformu se dvěma kartáčovými stejnosměrnými motory s kovovými převody a pěti infračervenými optickými senzory pro detekci čáry. Robot je řízen AVR mikroprocesorem ATmega328P a napájen čtyřmi AAA bateriemi. Jeho ovládací uživatelské rozhraní je tvořeno 8x2 LCD displejem a třemi uživatelskými tlačítky (Pololu, 2022).

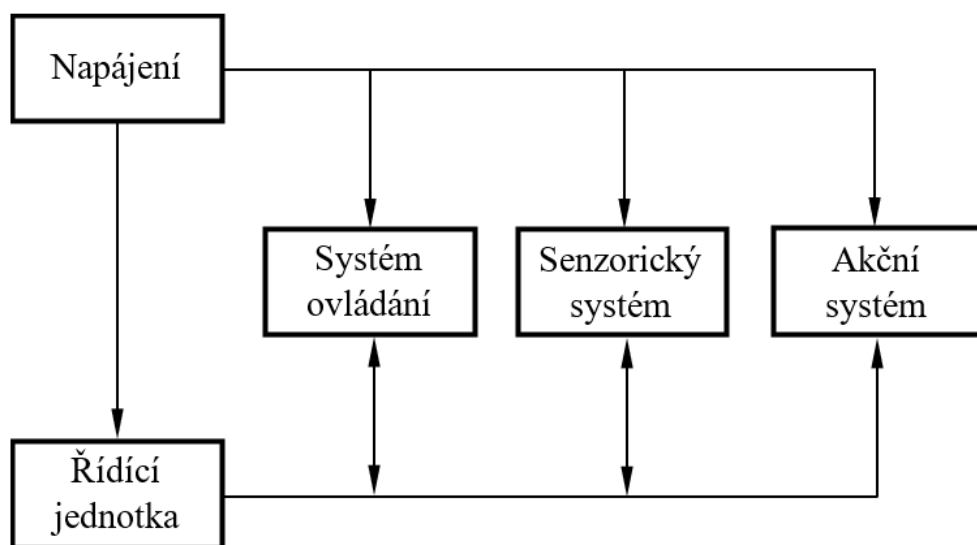
Na stěnové bludiště je specializován robot PICone firmy PICAXE. Autory návrhu tohoto robotu jsou Derek Hall a Jim Chidley, kteří s ním v roce 2007 vyhráli britskou celostátní soutěž robotů micromouse. Design je specifický vertikálním umístěním stejnosměrných kartáčových motorů, které s plastovými převody a koly tvoří pevnou základnu pro zbytek konstrukce. Výpočetní jednotkou je mikropočítač PICAXE-28X2 a orientaci v bludišti zajišťují infračervené senzory vzdálenosti. Robot je napájen 9V alkalickou baterií. Na obr. 1.4 je původní verze robotu se dvěma mikropočítači. Aktuálně dostupná verze má pouze jeden, výkonnější, mikropočítač (PICAXE, nedatováno).



Obr. 1.4 – Robot PICone firmy PICAXE (PICAXE, nedatováno)

1.2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ ROBOTU TYPU MICROMOUSE

Konstrukční řešení robotu bude stavebnicové. To znamená, že robot bude sestaven z volně dostupných, komerčně vyráběných, modulů a součástek, které budou uchyceny na jednotném podkladu. Tímto způsobem řešení se robot stává výukovou platformou výhodnou pro studenty, protože poskytuje volnost v úpravách finálního řešení, což je ideální při studiu různých typů senzorů, akčních členů, ale i řídicích jednotek. Hlavní prvky konstrukce takového mobilního robotu lze vyjádřit obecným blokovým schématem, které je na obr. 1.5 (De, 2004; Novák, 2005).



Obr. 1.5 – Blokové schéma mobilního robotu

1.2.1 Napájení

Je zřejmé, že napájení mobilního robotu externím zdrojem připadá v úvahu pouze ve fázi jeho ožívování. Jakmile je plně nasazen do funkce, musí mít vlastní napájecí zdroj. Při volbě vhodného napájecího zdroje jsou k dispozici dva hlavní typy: baterie a akumulátory neboli primární a sekundární články. Kritéria, na jejichž základě je zdroj vybírán, závisí především na vlastnostech obvodu, který má být napájen. Důležitým parametrem zdroje je maximální proudový odběr a samozřejmě také jeho napětí. Dalšími parametry jsou: velikost vnitřního odporu, kapacita, ztráty samovybíjením, ale také velikost a hmotnost (Novák, 2005).

Primární články fungují na principu nevratných chemických reakcí a není možné je dobíjet. S výjimkou lithiových článků mají vyšší vnitřní odpor, což je pro mobilní roboty, které mají kvůli pohybovému systému poměrně velký proudový odběr, nevýhodné. Na druhou stranu mají vysokou životnost a nízké ztráty samovybitím. Mezi primární články patří například zinko-uhlíkové, zinko-chloridové, alkalické a lithiové baterie. S výjimkou lithiových se jmenovitým napětím 3 V mají jmenovité napětí 1,5 V (Pindřák, 2019).



Obr. 1.6 – Li-Ion články v provedení 18650

Sekundární články, na rozdíl od primárních článků, umožňují opakovaná nabíjení. Patří mezi ně NiCd, NiMH a Li-Ion akumulátory. Články NiCd vynikají životností, vysokým maximálním proudovým odběrem a rychlostí nabíjení. Jejich nevýhodou je toxicita a paměťový efekt. Také mají nižší energetickou hustotu. Jmenovité napětí je tedy pouze 1,2 V. Akumulátory NiMH mají obdobné vlastnosti, ale jsou méně toxické a mají větší kapacitu. Jejich samovybití je ale vyšší a fungují v menším teplotním rozsahu. Posledním, zde zmíněným, akumulátorem je Li-Ion článek. Tento článek má vysokou kapacitu a výrazně vyšší energetickou hustotu. Jmenovité napětí se obvykle pohybuje okolo 3,6 V. Přestože má vyšší vnitřní odpor, existují i provedení s vysokými maximálními proudovými zatíženími kolem 10 A. Závažnější nevýhodou je nebezpečí exploze při nesprávné manipulaci – jako například mechanické a tepelné poškození, zkratování elektrod nebo nevhodné vybití či nabíjení. Proto je nutné tento článek nabíjet a vybitet přes ochranný obvod. Na obr. 1.6 jsou Li-Ion články od firmy Samsung v provedení 18650 (Pindřák, 2019).

1.2.2 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka mobilního robotu určeného pro řešení bludiště je obvykle tvořena jedním nebo více mikroprocesory. Počet a konkrétní typ mikroprocesorů je volen na základě všech předpokládaných funkcí. Složitější aplikace, které například vyžadují větší množství čítačů, lze řešit distribucí řízení, tedy rozdělením dílčích řídicích úloh mezi více mikroprocesorů (Novák, 2005).

V případě stavebnicového řešení je vhodné využít vývojových desek, protože obsahují všechny podpůrné obvody potřebné pro funkci mikroprocesoru. Znáмым výrobcem vývojových desek pro studijní účely je firma Arduino. Tato firma aktuálně nabízí desítky vývojových desek a rozšiřujících modulů v různých provedeních. Mezi populární modely patří například Uno. Na obr. 1.7 je aktuálně nejnovější oficiální verze R3. Dalšími známými modely jsou Nano nebo Mega (Arduino, 2020).



Obr. 1.7 – Vývojová deska Arduino Uno R3

1.2.2 Systém ovládání

Ovládání mobilního robotu typu micromouse je vzhledem k povaze soutěže obvykle řešeno velmi jednoduše. Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.1.1, soutěžící nesmí robota během jízdy nijak ovládat, jinak se pokus stává neplatným. Robot tedy pro svou funkci nutně potřebuje pouze několik tlačítek, ať už dálkových nebo přímo na sobě, která slouží například k přepínání mezi módy učení a závodění, popřípadě k vymazání naučené cesty. Finální počet tlačítek a jejich účel závisí hlavně na způsobu softwarového řešení a s tím spojené míře autonomie (Pololu, 2022).

Ovládací prvek umístěný přímo na robotu je vhodné realizovat jednotlivými tlačítky nebo menší membránovou klávesnicí. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost softwarového blokování zákmitů tlačítek a také nutnost se robota fyzicky dotýkat, což může být u rozsáhlejších bludišť obtížné (Arduino, 2015).

Alternativou je ovládání dálkové. K tomu lze využít přenosu pomocí infračerveného světla. Jedná se o jednosměrnou komunikaci mezi dvěma zařízeními – vysílačem a přijímačem. Vysílač kóduje zprávu do formy elektrického signálu, který následně převede na pulsní optický signál, jehož vlnová délka je v infračervené části spektra. Přijímač zprávu ve formě optického signálu dekoduje a převádí zpět na signál elektrický, se kterým může dále pracovat např. mikroprocesor. Tento způsob přenosu má řadu nevýhod. Jelikož se jedná o optický signál, musí být mezi vysílačem a přijímačem přímá viditelnost, což obvykle dále snižuje úhel, pod kterým je přijímač schopný přijímat. Signál je také náchylný k interferenci, kterou může způsobit i obyčejné interiérové osvětlení. Dosah přenosu se pohybuje v řádu několika metrů. Výhodou této metody přenosu je hlavně levná implementace (Zdařil, 2009). Na trhu existuje řada hotových modulů, které jsou kompatibilní s vývojovými deskami. Jeden z nich je na obr. 1.8.

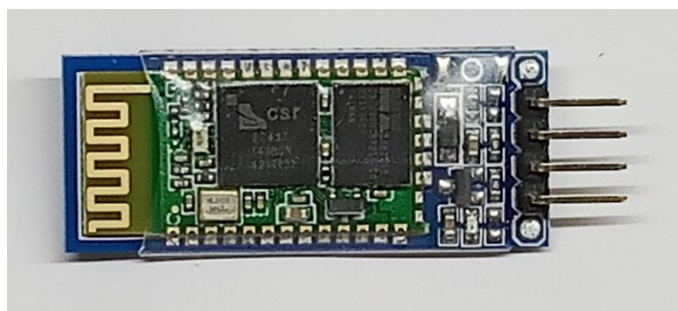


Obr. 1.8 – Modul IR dálkového ovládání (ECLIPSE, 2016)

Další možností je ovládání pomocí přenosu příkazů přes Bluetooth. Jedná se o standard pro bezdrátovou rádiovou komunikaci na krátkou vzdálenost – podle výkonu až 100 m. Před zahájením komunikace se musí komunikující zařízení spárovat a při komunikaci jsou jim vždy přiřazeny role Master a Slave, které se ale mohou střídat. K radiovému přenosu se využívá nelicencované frekvenční pásmo ISM o frekvenčním rozsahu od 2,4 do 2,48 GHz. Toto pásmo

je rozdělena na 79 kanálů. Přenos probíhá metodou FHSS, která spočívá v rychlém přeladování mezi zmíněnými kanály. Využitím celého spektra se ve výsledku snižuje interference a zvyšuje bezpečnost, protože případné odposlouchávací zařízení neví, na kterém kanále, v jakém okamžiku komunikace probíhá. Výhodou Bluetooth standardu je nízká spotřeba, dobrá bezpečnost a také možnost přenosu skrz překážky (Dočekal, 2014).

K ovládání pomocí Bluetooth lze využít například modul HC-06 znázorněný na obr. 1.8, který je přímo kompatibilní s vývojovou deskou Arduino. Tento modul pracuje na verzi Bluetooth 2.0, může zastupovat pouze roli Slave a komunikuje přes sériovou linku o nastavitelné rychlosti v rozpětí 1200 až 115200 Bd. Výchozí rychlost je 9600 Bd. Napájecí napětí modulu může být v rozsahu 3,3 až 6 V. Logická úroveň vstupních a výstupních signálů je 3,3 V (Drátek, nedatováno).



Obr. 1.8 – Bluetooth modul HC-06

1.3 SENZORICKÝ SYSTÉM

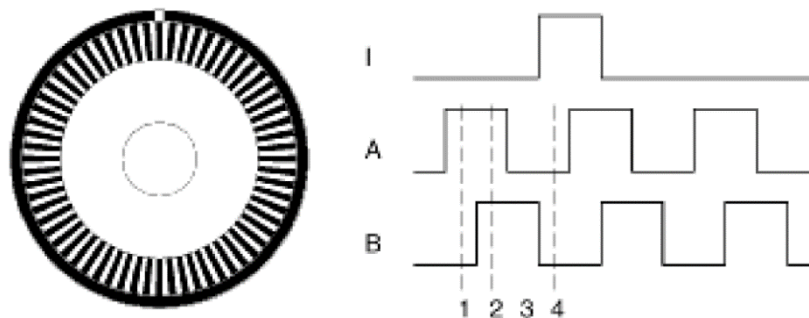
Senzorický systém poskytuje řídicí jednotce informace o prostředí, ve kterém se robot nachází, a případně také o stavu hardwarových komponent, z nichž je robot zkonstruován. Řídicí jednotka na základě těchto informací plní úkoly stanovené řídicím algoritmem, proto je velice důležité, aby byl senzorický systém správně navržen. Při návrhu tohoto systému je tedy nutné důkladně zanalyzovat podmínky, ve kterých bude pracovat. Tyto podmínky mohou zahrnovat vlivy prostředí jako typy osvětlení a povrchů, se kterými se robot může setkat, nebo okolní teplota. V neposlední řadě je nutné zohlednit také vzájemné rušení mezi jednotlivými hardwarovými komponenty a výpočetní výkon řídicí jednotky (Novák, 2005).

Konkrétní typy senzorů lze rozdělit podle vztahu snímaných elementů vzhledem k robotu na senzory interní a externí. Interní senzory měří parametry systémů, které jsou přímo součástí robotu. Může jít o čistě diagnostické měření jako kontrola teploty či stavu baterie nebo měření na komponentech akčního systému, které zahrnuje například měření rychlosti otáček,

polohy a úhlu natočení. Externí senzory slouží hlavně k orientaci v prostoru. Jedná se například o měření vzdálenosti od překážky nebo čistě o získání informace o její přítomnosti či nepřítomnosti. Podle metody měření se dělí na dotykové a bezdotykové. Jak už z názvu plyne, dotykové senzory měří pouze pomocí dotyku a bezdotykové využívají k měření například akustických nebo optických vlnění (Novák, 2005).

1.3.1 Interní senzory

U robotů zaměřených na řešení bludišť je kladen důraz na jejich rychlost, proto se obvykle využívá pouze nezbytných senzorů, jelikož jejich větší množství znamená vyšší celkovou hmotnost. Interní senzory zaměřené na diagnostiku z tohoto důvodu nejsou žádoucí. Na druhou stranu senzory měřící v rámci akčního systému své využití nalézají, protože mohou značně usnadnit a zpřesnit regulaci rychlosti, zrychlení a polohy mobilního robotu. Mezi tyto senzory se řadí například kvadrurní inkrementální enkodér.

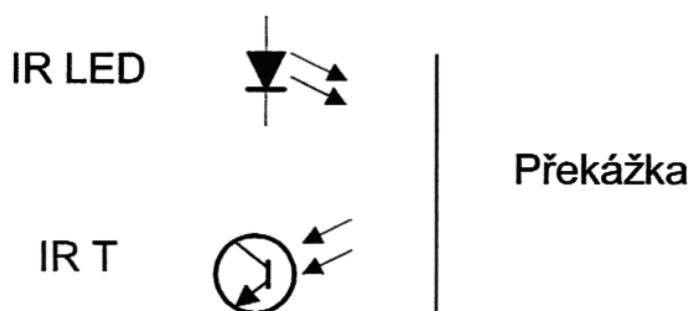


Obr. 1.9 – Signály generované kvadrurním inkrementálním enkodérem (Siegwart, 2004)

Kvadrurní inkrementální enkodér je optický snímač sloužící k měření otáček. Princip měření je následující. Naproti sobě jsou umístěny emitor a detektor, tedy LED a fototranzistor, a mezi nimi je otočné mezikruží. Mezikruží je pravidelně střídavě rozděleno na průhledné a neprůhledné sektory. Při otáčení mezikruží dochází ke střídavému průchodu a blokaci optického signálu mezi emitorem a detektorem. Tímto způsobem je generován obdélkový signál. Řídící jednotka poté počítá pulzy tohoto signálu, tedy inkrementuje proměnnou uloženou v registru, proto se tento enkodér nazývá inkrementální. Při známém počtu průhledných sektorů na otáčku je pak možné určit rychlost otáčení. Aby bylo možné určit také směr otáčení, je umístěn další pár emitor-detektor tak, aby byl fázový rozdíl mezi výstupními obdélkovými signály 90°. Výstupní signály jsou tedy kvadrurní. Pořadí, v jakém výstupní signály generují náběžnou hranu, odpovídá směru otáčení (Siegwart, 2004; Novák, 2005).

1.3.2 Externí senzory

Externí senzory jsou nezbytnou součástí každého robotu typu micromouse, protože umožňují orientaci v prostoru bludiště. Také u těchto senzorů platí, že by měly být omezeny pouze na nejnutnější provedení za účelem dosažení co nejnižší celkové hmotnosti robotu. Jak již bylo zmíněno, senzory mohou být dotykové nebo bezdotykové. Roboty typu micromouse obvykle dotykové senzory nevyužívají, protože nutnost dotyku se stěnou by nevyhnutelně omezovala jeho volnost a zpomalovala jeho jízdu. Z tohoto důvodu je následující text zaměřen pouze na bezdotykové senzory. Konkrétní typ použitých senzorů závisí na provedení soutěžního bludiště. V případě stěnového bludiště potřebuje řídicí jednotka znát vzdálenost od stěn, nebo alespoň informaci o přítomnosti stěny. K tomu lze využít senzorů vzdálenosti, ať už optických, využívajících infračerveného světla, nebo akustických. U čárových bludišť se jedná o detekci tmavé čáry na světlém povrchu optickými reflektivními senzory (De, 2004).



Obr. 1.10 – Princip infračervených senzorů (Novák, 2005)

Infračervený senzor se používá k detekování přítomnosti překážky ve vzdálenosti odpovídající řádově desítkám centimetrů. Tento senzor je tvořen párem emitor-detektor, konkrétně se jedná o LED a fototranzistor. Emitor vysílá paprsek infračerveného světla. Je-li v cestě paprsku překážka, paprsek se od ní odrazí a detektor ho detekuje. Výstupem senzoru je tedy informace o přítomnosti či nepřítomnosti překážky. Nevýhodou tohoto senzoru je, že množství odraženého světla závisí na barvě a reliéfu povrchu překážky – tmavé barvy světlo silně absorbují a hrubé reliéfy mění úhel odrazu. Další nevýhodou je náchylnost k rušení okolním světlem, kterému se ale dá předcházet modulací vysílaného paprsku (Novák, 2005).

Infračerveným senzorem je možné také orientačně určit vzdálenost překážky řízením výkonu emitoru. Stanoví se řada úrovní minimálních výkonů pro detekci konkrétních vzdáleností a poté se například metodou pulení intervalů hledá správná výkonová úroveň, pro kterou ještě k detekci dochází, a jí odpovídající vzdálenost (Novák, 2005).

Další možnou aplikací infračerveného senzoru je detekce vodící linie. Jelikož tyto senzory nemohou detekovat tmavé povrchy, protože vysílaný světelný paprsek je jimi absorbován, je možné této skutečnosti využít k vytvoření vodící linie tmavé barvy na světlém podkladu. Roboty k detekci této linie využívají pásu vedle sebe umístěných senzorů a snaží se regulovat otáčky motorů tak, aby byla vodící linie v jeho středu. Infračervené senzory tohoto typu jsou označovány jako reflektivní senzory nebo senzory odrazu a jejich dosah je řádově v desítkách milimetrů. Výstupní napětí těchto senzorů závisí na množství detekovaného odraženého světla. Na základě kalibrované rozhodovací úrovně je poté určena přítomnost či nepřítomnost vodící linie (Novák, 2005; Vishay, 2022).



Obr. 1.11 – Reflektivní senzor TCRT5000 (Vishay, 2022)

K detekci stěn bludiště lze využít také akustických senzorů neboli sonarů. Sonary využívají akustického signálu o frekvencích nad 40 kHz, jedná se tedy o ultrazvukové vlnění. V rámci každé periody měření vyše emitor tento signál a poté se měří doba do detekce tohoto signálu detektorem. Podle této doby je následně vypočtena vzdálenost. Jelikož je rychlost zvuku v porovnání s rychlostí světla velmi malá, je možné měřením dosáhnout při stejném výpočetním výkonu mnohem většího rozlišení. Tato výhoda ale může být i nevýhodou. Perioda měření se totiž zvyšuje s rostoucí vzdáleností a může dosahovat desítek až stovek milisekund, čímž se tento typ senzoru může stát nepoužitelným pro rychle se pohybující roboty. Vysílaný akustický signál má široký kuželovitý rozptyl, členité překážky s různými úhly natočení proto není možné přesně detekovat. Je-li úhel natočení překážky příliš velký, signál se nemusí vůbec odrazit zpět k detektoru. Překážka se tudíž stává neviditelnou. Z tohoto důvodu je velmi důležité správně posoudit prostředí, ve kterém se bude robot pohybovat, a podle toho navrhnout vhodné rozložení sonarů. Dosah akustického signálu kvůli rušení nepřesáhne desítky metrů (Novák, 2005; Morgan, 2014).

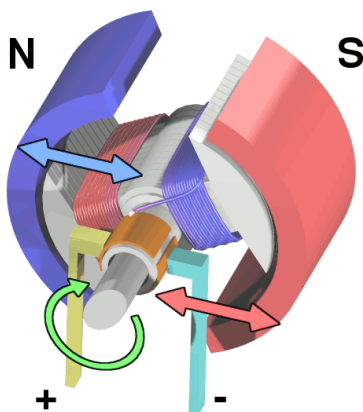
1.4 AKČNÍ SYSTÉM

Akční systém neboli pohonný systém zahrnuje všechny akční členy robotu. Akční členy mobilního robotu řešícího bludiště zajišťují pouze jeho pohyb, protože ostatní funkce jsou postradatelné. Jelikož se jedná o pohyb po rovině, využívá kol hnaných stejnosměrnými elektromotory s rotačním výstupem. Princip stejnosměrných motorů je založen na elektromagnetickém působení mezi pevným statorem a pohyblivým rotorem. Existují dvě hlavní kategorie stejnosměrných motorů s permanentním magnetem – kartáčové a bezkartáčové motory (Skalický, 2001; Micromouse Online, nedatováno).

Soutěžní roboty micromouse nejčastěji využívají kartáčové stejnosměrné motory, protože jsou lehké a výkonné. Alternativou jsou bezkartáčové motory. U výukových mobilních robotů se někdy využívají i krokové motory, protože při řízení umožňují větší kontrolu, což usnadňuje tvorbu řídicích algoritmů. Jelikož je rotace těchto motorů krokovaná, vynikají svým točivým momentem, ale nedosahují příliš vysokých výkonů. Z tohoto důvodu je moderní soutěžní micromouse roboty nevyužívají (Novák, 2005; Micromouse Online, nedatováno).

1.4.1 Kartáčové stejnosměrné motory

U kartáčových motorů je permanentním magnetem stator. Rotor je elektromagnet tvořený cívkami, do kterých je přes komutátor a kartáče přivedeno stejnosměrné napájecí napětí. Proud protékající cívkami generuje magnetické pole. Směr síly vyvolané tímto magnetickým polem závisí na směru protékajícího proudu.

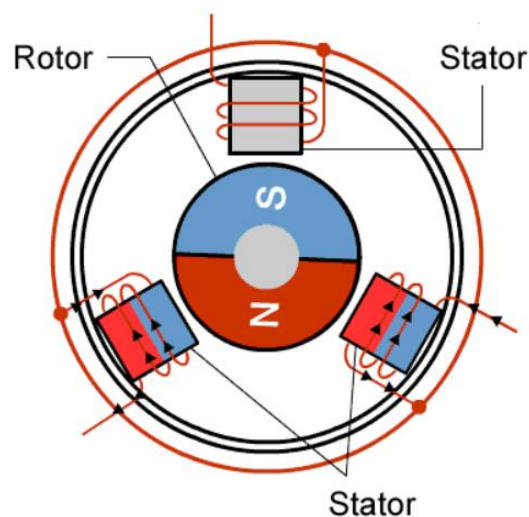


Obr. 1.12 – Princip kartáčového stejnosměrného motoru (Wikimedia Commons, 2008)

Komutátor je mechanicky konstruován tak, aby přes něj dodávaný proud vždy vytvářel magnetické pole silově působící proti poli statoru. Stator se vlivem tohoto silového působení otáčí. Platí, že čím vyšší je napájecí napětí, tím vyšší je proud protékající cívkami a tím silnější je generované magnetické pole. Rychlost otáčení tedy závisí na velikosti napájecího napětí a směr otáčení na jeho polaritě. Výhodou kartáčových motorů je nízká hmotnost, vysoký výkon a cenová dostupnost. Nevýhodou je komutátorem generované elektromagnetické rušení a používáním způsobované opotřebení kartáčů. Motor má také poměrně nízký točivý moment, který se mění v závislosti na rychlosti otáčení. Proto musí být často podpořen převodovkou (Skalický, 2001; Novák, 2005).

1.4.1 Bezkartáčové stejnosměrné motory

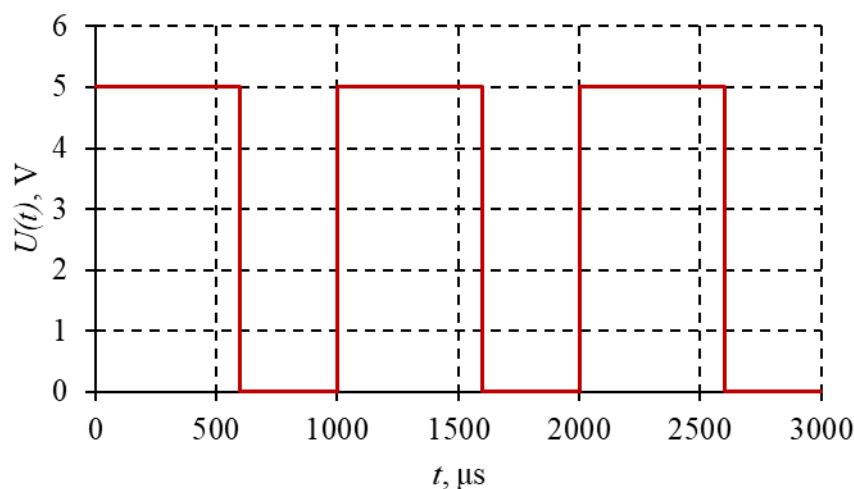
Bezkartáčové motory jsou založeny na stejném fyzikálním principu. Od kartáčových motorů se liší svou invertovanou konstrukcí. Rotor je permanentní magnet a stator je elektromagnet tvořený řadou cívek. Otáčení rotoru je docíleno změnou magnetické polarity statoru vyvolanou postupným buzením jednotlivých cívek. Jelikož tyto motory nemají komutátor a kartáče, generují mnohem nižší elektromagnetické rušení a mají vyšší životnost. Další výhodou je poměrně stálý točivý moment při libovolných otáčkách. Jejich nevýhodou je vyšší pořizovací cena a složitější řízení (Renesas, nedatováno).



Obr. 1.12 – Princip bezkartáčového stejnosměrného motoru (Renesas, nedatováno)

1.4.1 Řízení otáček kartáčových motorů

Jak již bylo zmíněno, čím větší je proud protékající cívkami rotoru, tím silnější magnetické pole generují a tím rychleji se rotor otáčí. Rychlost otáčení je tedy možné řídit změnou napájecího napětí. Směr otáčení rotoru závisí na směru protékajícího proudu. Změny směru proudu lze docílit připojením napětí opačné polaroty, nebo využitím můstkového spínače. Pro roboty typu micromouse je vhodnou metodou řízení otáček využití PWM signálu ke spínání H-můstku dodávajícího napájecí napětí do motoru (Novák, 2005).

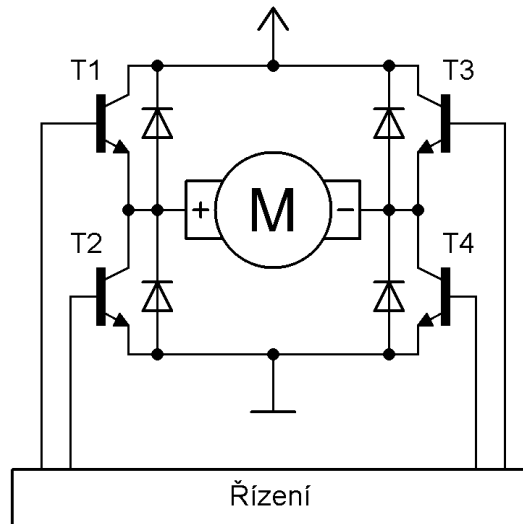


Obr. 1.13 – Průběh PWM signálu se střídou 60 %

PWM je pulzně šířková modulace. Takto modulovaný signál je obdélníkový a má konstantní frekvenci. Informace je přenášena pomocí velikosti jeho střídě. Střída je procentuální poměr doby trvání vysoké napěťové úrovně v rámci jedné periody a doby trvání této periody. Při stoprocentní střídě je signál pouze ve vysoké napěťové úrovni a při nulové střídě je pouze v nízké napěťové úrovni. Je-li napájecí napětí motoru ovládáno tímto signálem, proud kvůli indukčnosti cívek rotoru nestíhá reagovat na rychlé změny napětí a jeho časový průběh je ve výsledku zvlněný. Čím vyšší je frekvence řídicího PWM signálu, tím je zvlnění jemnější a více se blíží střední hodnotě řídicího signálu. Střední hodnota odpovídá procentuální hodnotě dané střídou. Na obr. 1.13 je zobrazen průběh PWM se signálu o frekvenci 1 kHz se střídou 60 % (Novák, 2005).

Můstkový spínač neboli H-můstek je zapojení se čtyřmi spínacími výkonovými tranzistory, které se používá jako budicí obvod stejnosměrných motorů. Na obr. 1.14 je znázorněno jeho zapojení. Ke každému tranzistoru je paralelně připojena dioda chránící proti

napětí opačné polaroty, které vzniká na cívkách motoru při odpojení napájení. Výhodou můstkového spínače je, že umožňuje řídit rychlost otáček motoru oběma směry bez nutnosti připojení symetrického napájecího napětí. Nevýhodou jsou vysoké ztráty při zastaveném motoru (Novák, 2005).



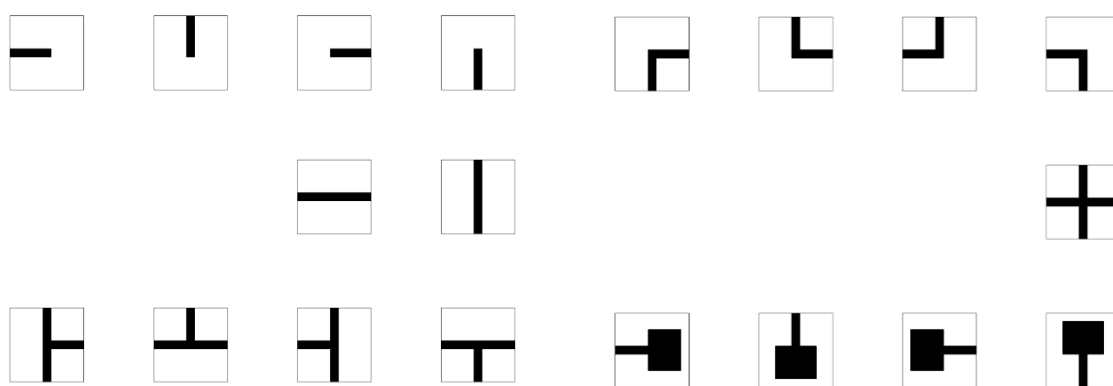
Obr. 1.14 – Můstkový spínač

Můstkový spínač je obvykle součástí tzv. řadiče, který je prostředníkem mezi můstkem a řídicí jednotkou. Řídicí jednotka generuje PWM signál a dva logické řídicí signály. Na základě kombinace řídicích signálů řadič propouští PWM signál k jednotlivým tranzistorům můstku. Jsou-li v jeden okamžik spínány tranzistory T1 a T4 nebo T2 a T3, motor se otáčí jedním nebo druhým směrem. Pokud jsou spínány tranzistory T1 a T3 nebo T2 a T4, neteče motorem žádný proud a motor se neotáčí. Pokud by došlo k sepnutí tranzistorů T1 a T2 nebo T3 a T4, nastal by zkrat. Proto musí řadič zajistit, aby k tomuto stavu nedošlo. Výhodou použití řadiče je tedy jak ošetření zakázaných kombinací, tak redukce počtu signálových vstupů nutných pro ovládání motoru (Novák, 2005).

2 REALIZACE TESTOVACÍHO PROSTŘEDÍ

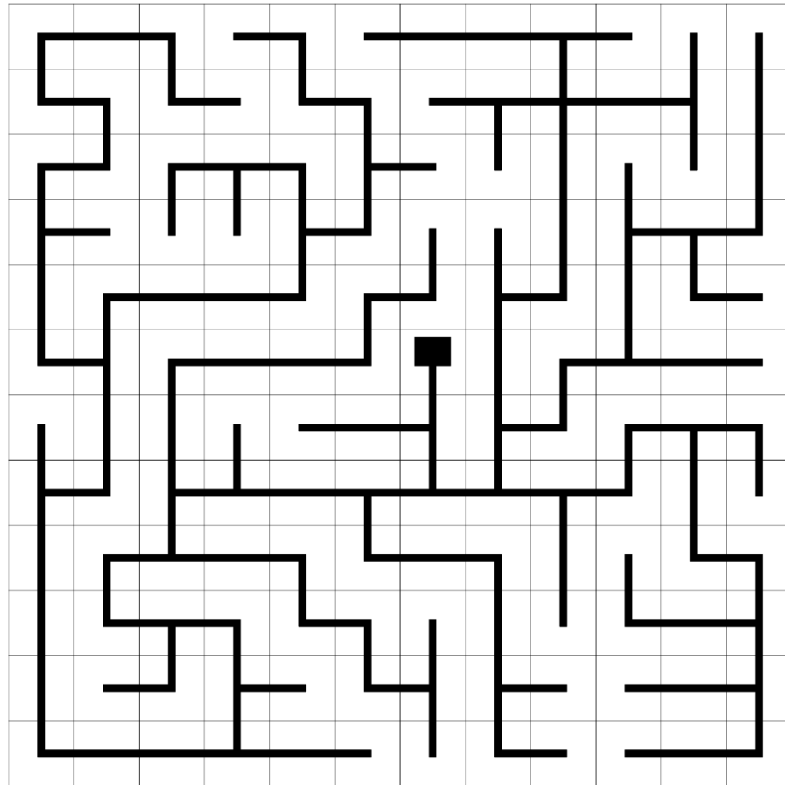
Testovací prostředí ve formě bludiště bylo navrženo tak, aby se podobalo skutečným soutěžním bludištím, která byla uvedena v kapitole 1.1.1. Řešení bludišť stěnových a čárových je principiálně velmi podobné. Stěnové bludiště je ale mnohem náročnější na realizaci ve formě modulárního přenosného celku. Z tohoto důvodu byl k realizaci zvolen čárový typ bludiště.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.1.1, soutěžní bludiště bývají realizována ze čtvercových bloků. Na obr. 2.1 jsou znázorněny všechny možné typy těchto bloků. Jde o slepé uličky, rovinky, zatáčky, křižovatky neboli rozhodovací body a varianty cílového bloku.

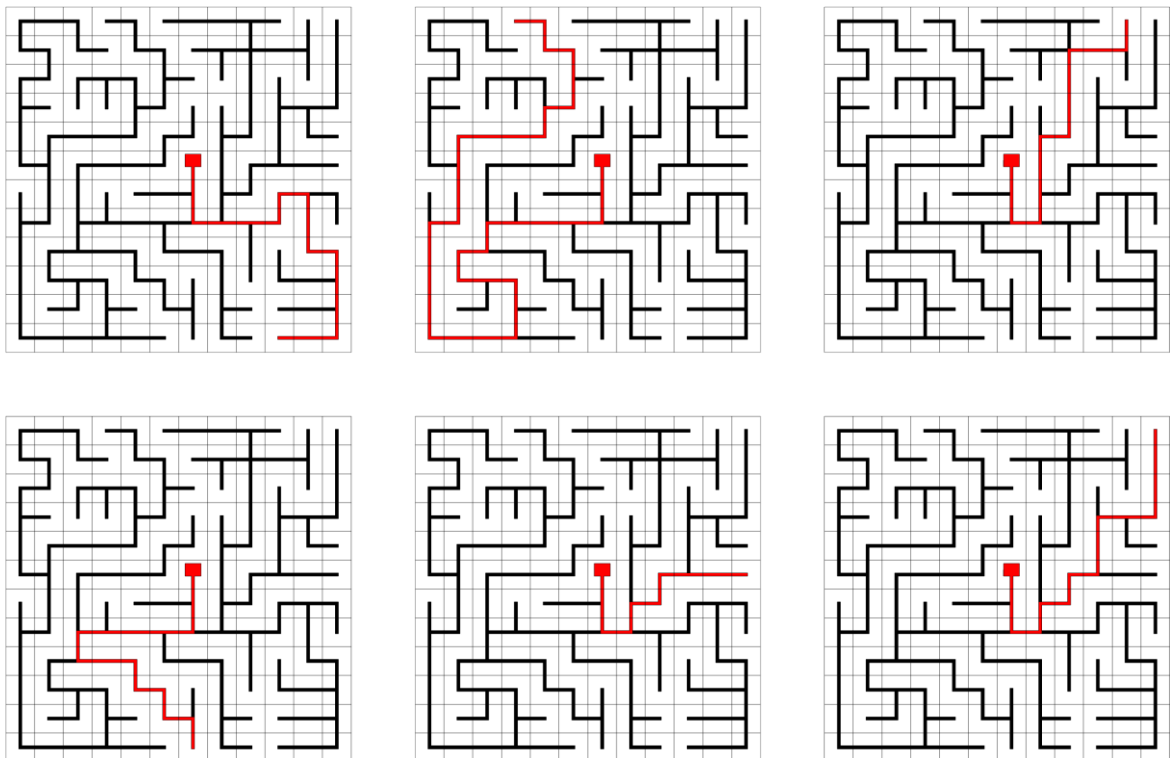


Obr. 2.1 – Všechny možné typy bloků čárového bludiště

Vzhledem k tomu, že se jedná o testovací prostředí, nebyl žádný blok explicitně určen jako startovní. Místo toho bylo po obvodu bludiště rozmístěno několik zaslepených cest, které je možné jako startovní pozici využít. Cíl byl umístěn doprostřed bludiště, jak je tomu u většiny soutěžních bludišť. Zbytek cest byl navržen tak, aby netvořily smyčky a aby všechny obsahovaly srovnatelný počet rozhodovacích bodů, ale přitom se lišily v obtížnosti jejich učení. Návrh výsledného bludiště je na obr. 2.2. Jeho velikost je 12 bloků na šířku a 12 na výšku. Celkově je tedy tvořeno 144 bloky. Některá vybraná řešení tohoto bludiště jsou na obr. 2.3. Je zjevné, že využití obvodových slepých uliček jako startovních bloků výrazně rozšířilo testovací možnosti bludiště.

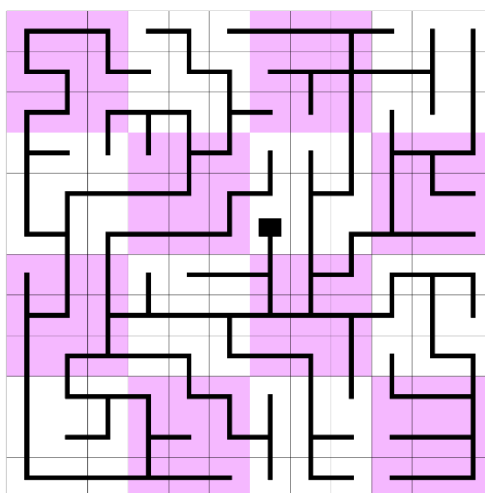


Obr. 2.2 – Návrh čárového bludiště jako testovacího prostředí



Obr. 2.3 – Vybraná řešení navrženého bludiště

Jelikož je bludiště tvořeno 144 základními bloky, bylo by jeho sestavování příliš časově náročné. Také by bylo náchylnější na deformaci v místech spojů. Z toho důvodu bylo bludiště rozděleno na 16 stavebních bloků, přičemž každý stavení blok je tvořen 9 základními bloky. Toto řešení umožňuje snadnou přepravu, rychlé složení a rozložení a v neposlední řadě je také mnohem méně náchylné na deformace. Rozdělení je barevně znázorněno na obr. 2.4.



Obr. 2.4 – Barevné znázornění rozdělení bludiště na stavební bloky

Na základě uvedeného návrhu bylo testovací prostředí fyzicky realizováno z bílé dřevité lepenky tvořící podklad a černé elektrikářské izolační pásy šířky 19 mm tvořící vodící linie. Základní blok má tvar čtverce o straně 18 cm. Celkový rozměr bludiště je 216 cm na šířku a 216 cm na výšku. Na obr. 2.5 je fotografie realizovaného bludiště.



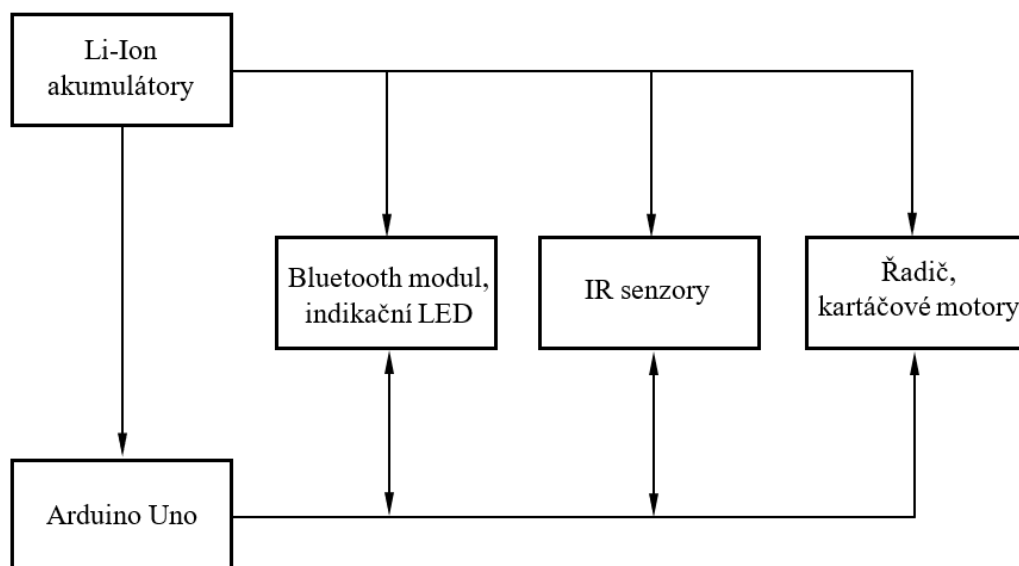
Obr. 2.5 – Fotografie realizovaného bludiště

3 REALIZACE HARDWARU PROTOTYPU

Od navrženého a realizovaného testovacího prostředí se odvíjí koncepce prototypu mobilního robotu. V následujících podkapitolách jsou popsány dílčí komerčně vyráběné moduly, které byly vybrány pro realizaci, a následně proces návrhu mechanické konstrukce.

3.1 VYBRANÉ MODULY

Moduly byly vybrány na základě analýzy konstrukčního řešení robotů typu micromouse zaměřených na řešení čárových bludišť, která je součástí teoretické části této práce. Mezi hlavní kritéria při výběru jednotlivých modulů patřila vzájemná kompatibilita, rozměry, konstrukční vlastnosti s ohledem na možnosti začlenění do organizovaného celku a cena. Na obr. 3.1 je blokové schéma prototypu vycházející ze schématu uvedeném na obr. 1.5.



Obr. 3.1 – Blokové schéma prototypu

3.1.1 Akumulátory

Pro napájení byly vybrány dva Li-Ion akumulátory v provedení 18650. Jmenovité napětí každého z nich je 3,7 V. Mají kapacitu 2200 mAh a jejich maximální trvalý vybíjecí proud je 10 A. Při zapojení do série poskytují napájecí napětí okolo 7,4 V v závislosti na míře nabití, což je ideální pro vybraný řadič motorů a vhodné také pro přímé napájení vývojové desky Arduino Uno. Maximální vybíjecí proud výrazně přesahuje předpokládaný proudový odběr a kapacita umožní nepřetržitý běh robotu po dobu několika hodin (Samsung SDI, 2010).

Ochrana akumulátorů je vyřešena modulem 2S3A, který chrání akumulátory proti zkratu, přetížení, vybití a nadproudu. Z jeho názvu vyplývá, že se jedná o modul určený pro dva akumulátory zapojené do série a jeho maximální výstupní proud je 3 A. Tvořený je integrovaným obvodem DW01A, který řídí ochranu skrz výkonové MOSFET tranzistory integrované ve dvojici obvodů FS8205A (FORTUNE, 2014; HMSEMI, nedatováno). Na obr. 3.2 je fotografie modulu z obou stran.



Obr. 3.2 – Modul 3S3A pro ochranu Li-Ion baterií

Modul má na vstupech předpřipravené destičky pro připájení vodičů. Po zapojení akumulátorů do série se připojí vzniklý kladný a záporný napěťový výstup ke vstupům modulu značeným B+ a B-. Ke vstupu značenému BM se přivede napěťový potenciál, který je mezi akumulátory. P+ a P- jsou výstupy vzniklého napěťového zdroje.



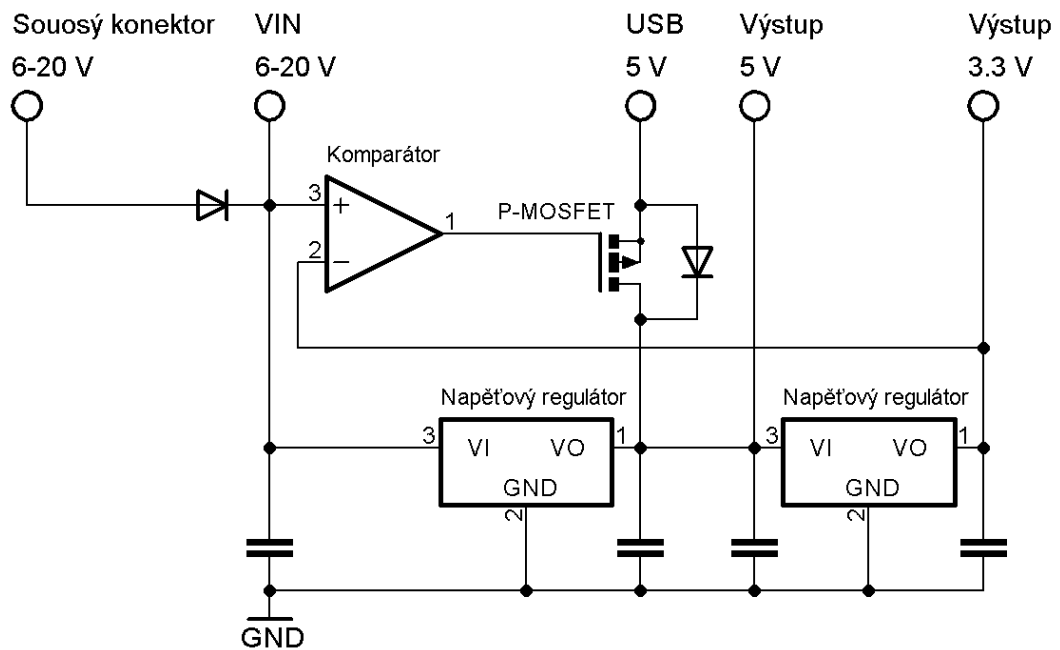
Obr. 3.3 – Box pro uložení dvojice akumulátorů 18650 v sérii

Pro bezpečné uložení akumulátorů v těle robotu je využito boxu určeného pro akumulátory typu 18650. Na obr. 3.3 je jeho fotografie. Kvůli připojení ochranného obvodu je nutné vyvést napěťový potenciál mezi akumulátory dodatečným vodičem.

3.1.2 Arduino Uno

Zvolenou řídicí jednotkou je vývojová deska Arduino Uno, protože má dostatečný počet vstupně-výstupních pinů pro všechny periferie a časovačů pro řízení motorů. Také se jedná o nejpopulárnější vývojovou desku této firmy, čímž se vlastní realizace tohoto projektu stává přístupnější většímu množství studentů.

Srdcem této vývojové desky je mikroprocesor ATmega328P, jehož taktovací frekvence je 16 MHz. Součástí tohoto mikroprocesoru jsou tři časovače. Dva z nich mají rozlišení 8 bitů a jeden 16 bitů. Je tedy možné použít dva na řízení motorů a jeden pro generování zpoždění a měření intervalů. Celkem je na desce k dispozici 20 vstupně-výstupních pinů, z nichž 6 umožňuje analogový vstup a dalších 6 PWM výstup. Piny 0 a 1 jsou RX a TX vývody do rozhraní USART, přes které probíhá nahrávání programu do mikroprocesoru i v případě nahrávání přes USB. Proto na těchto pinech v okamžiku nahrávání programu přes USB nesmí být připojeno žádné jiné komunikující zařízení (Arduino, 2022)



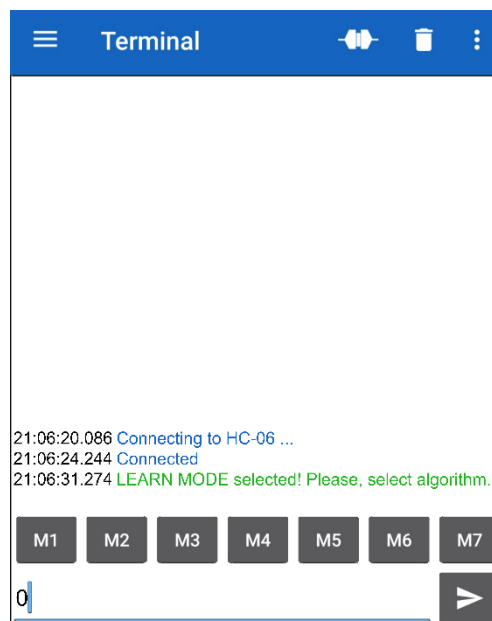
Obr. 3.4 – Schéma zapojení obvodu napájení vývojové desky Arduino Uno

Napájení desky je možné přes USB konektor, souosý konektor, nebo dvojici pinů VIN a GND. Na obr. 3.4 je zjednodušené schéma zapojení obvodu napájení. Napájecí napětí připojené přes souosý konektor a dvojici pinů VIN a GND může být v rozsahu 6 až 20 V. Maximální proud je pro obě varianty 1000 mA. Rozdílem je absence ochrany proti přepólování u VIN. Napájení přes USB je z principu funkce tohoto konektoru omezeno na napětí 5 V

a maximální odběrový proud je 500 mA. V případě, že je deska napájena přes souosý konektor nebo VIN, je na neinvertujícím vstupu komparátoru větší napětí než na vstupu invertujícím. Na výstupu komparátoru je tedy kladné napětí, které udržuje tranzistor zavřený a napájení přes USB pak není možné. Proto lze připojit USB pro účely nahrání programu do paměti mikroprocesoru i v případě, že je již připojen jiný napájecí zdroj. Výstupní piny umožňují napájení periférií přímo z vývojové desky. Napěťové úrovně 5 a 3,3 V jsou udržovány dvojicí napěťových regulátorů. Proud odebíraný přes tyto piny nesmí překročit maximální proud dodávaný jedním ze zmíněných napájecích zdrojů (Svoboda, nedatováno; Arduino, 2022).

3.1.3 Ovládání a indikace

Pokud by bylo ovládání realizováno ve formě tlačítek umístěných přímo na robotu, bylo by obtížné zastavit robot micromouse pohybující se rychle bludištěm v případě chyby řídicího algoritmu. Proto bylo ovládání realizováno bezdrátově. Jelikož robot pro detekci využívá reflektivní infračervené senzory, není z důvodu možného rušení vhodné realizovat ovládání pomocí přenosu infračerveného světla. Z tohoto důvodu byl zvolen přenos přes Bluetooth, který má oproti IR přenosu i další výhody jako větší dosah a možnost přenosu skrz překážky.

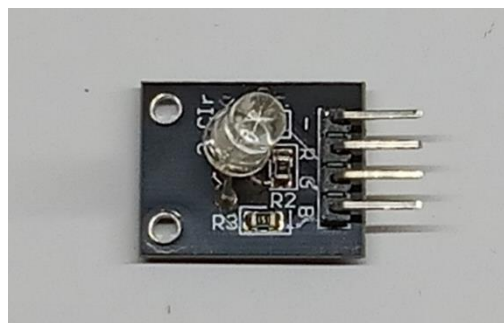


Obr. 3.5 –Prostředí aplikace Serial Bluetooth Terminal

V roli slave je na robotu uchycený Bluetooth modul HC-06, který byl popsán v kapitole 1.2.2, a v roli master je mobilní telefon s operačním systémem Android. Odesílání příkazů z mobilního telefonu probíhá přes terminálovou aplikaci Serial Bluetooth Terminal, která je

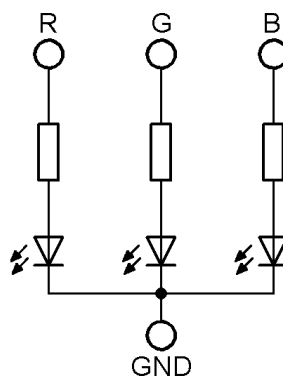
volně dostupná ke stažení v aplikaci Google Play. Tato aplikace je sériový terminál určený výhradně pro odesílání znaků a znakových řetězců přes Bluetooth. Kromě nastavení uživatelského prostředí a formátu přijatých a odesílaných zpráv umožňuje také využití tlačítek pro odesílání uživatelem definovaných textových řetězců (Drátek, nedatováno). Na obr. 3.5 je snímek obrazovky z aplikace Serial Bluetooth Terminal. Snímek ukazuje proces připojení k modulu a následné odeslání příkazu ve formě znaku, na který zařízení reaguje a zasílá zpětnou vazbu.

Aby bylo ovládání robota snazší, je vhodné ho vybavit indikací, která dává vizuální zpětnou vazbu na příkazy zasláné přes Bluetooth. Vzhledem k tomu, že připojení displeje by kvůli nedostatku vstupně-výstupních pinů bylo obtížné, byla vybrána indikace ve formě RGB LED, která umožňuje dostatečně rozmanitou indikaci a je navíc oproti displeji vidět z větší vzdálenosti. Vybraným RGB LED modulem je KY-016 od firmy KEYES, který je na obr. 3.6.



Obr. 3.6 –RGB LED modul KY-016 od firmy KEYES

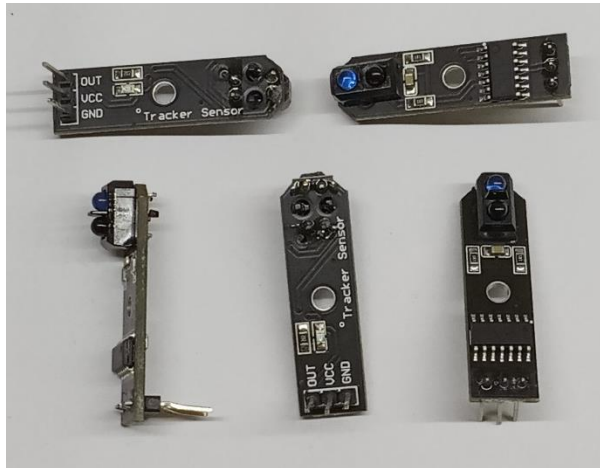
Na obr. 3.7 je schéma zapojení tohoto modulu. Jedná se o zapojení se společnou katodou. To znamená, že diody mají propojené a uzemněné katody a jsou buzeny logickou 1 ze vstupně-výstupních pinů vývojové desky.



Obr. 3.7 – Schéma zapojení RGB LED modulu KY-016

3.1.4 Senzory

Z realizovaného testovacího prostředí je zřejmé, že robot musí detekovat černou linii na světlém podkladu. To je možné pomocí reflektivních IR senzorů. Vzhledem k popularitě tzv. linefollower robotů existuje na trhu řada modulů přímo dedikovaných k této aplikaci. Při výběru vhodného modulu byly hlavním kritériem jeho rozměry a dále možnosti jeho uchycení na těle robotu. Vybraný modul vyhovující těmto kritériím je na obr. 3.8.



Obr. 3.8 – Moduly s infračerveným reflektivním senzorem TCRT5000

Modul je založený na senzoru TCRT5000. Tento senzor je tvořen emitorem i detektorem. Emitor je LED dioda a detektor je fototranzistor. Oba prvky mají ochranu před interferencí viditelným světlem. Na světlém povrchu se IR paprsky vysílané emitorem odrazí a neztrácejí příliš na své intenzitě. Fototranzistor, na který paprsky světla dopadají, je tedy otevřený. Oproti tomu tmavý povrch vysílané paprsky zcela nebo částečně absorbuje a intenzita odražených paprsků je výrazně nižší. Fototranzistor je pak zavřený nebo částečně otevřený. Fototranzistor tedy omezuje výstupní napětí senzoru na základě intenzity infračerveného světla, které na něj dopadá. Toto výstupní napětí je v rámci modulu přivedeno do Schmitt-Trigger obvodu integrovaného v čipu 74HC14. Schmitt-Trigger je obvod, který přepíná svůj digitální výstup, kdykoli dosáhne vstupní napětí určité předdefinované hodnoty. Výstupní signál modulu je tedy již digitalizovaný a nevyžaduje dodatečnou hardwarovou či softwarovou obsluhu v rámci řídicí jednotky (Philips, 2003; Vishay, 2022).

3.1.5 Motory

Na základě analýzy nejčastěji používaných akčních členů byly pro zprostředkování pohybu robotu zvoleny stejnosměrné kartáčové motory. Konkrétně jde o mini kartáčové motory typu G12-N20, které používá například komerčně vyráběný robot 3pi firmy Pololu uvedený na obr. 1.3. Tyto motory jsou vyráběny speciálně pro použití v robotech, modelech aut a lodí, nebo v aplikacích zahrnujících lineární řízení pohybu. Jejich výhodou je nízká váha, dosahující pouhých 10 g. Další výhodou jsou ocelové převody, které zajišťují silný točivý moment.

Nevýhodou těchto motorů je riziko trvalého poškození jak samotného motoru, tak ocelových převodů, dojde-li k zaseknutí hřídele (Handson technology, nedatováno; Pololu, 2022). K tomu může v případě robotu micromouse dojít snadno, pokud vlivem poruchy opustí vymezený prostor testovacího prostředí a zaklíní se jedním kolem o překážku. Tato nevýhoda ovšem může být eliminována zabezpečením testovacího prostředí. Motory jsou na obr. 3.9.

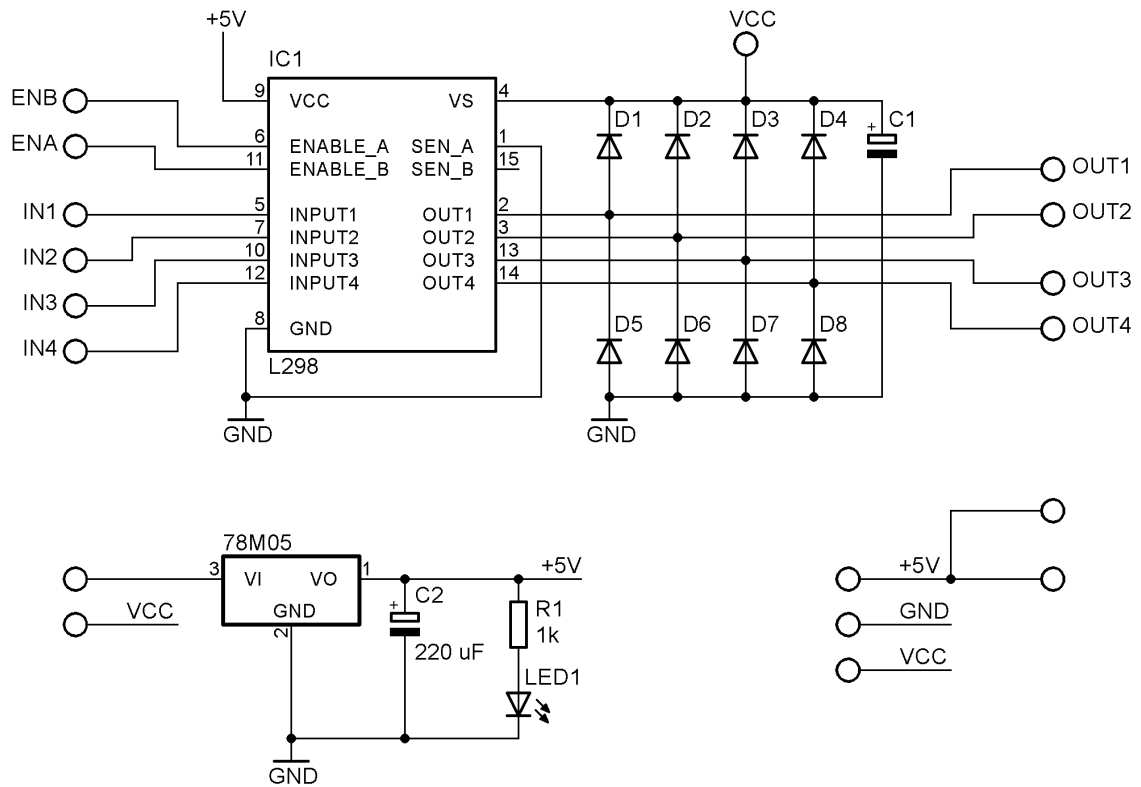


Obr. 3.9 – Kartáčové motory G12-N20

Motory G12-N20 se vyrábí v provedení s napájecím napětím od 6 do 12 V a dále se dělí dle maximálních otáček v rozpětí 30 až 1000 ot/min (Handson Technology, nedatováno). Pro prototyp byly vybrány motory s napájecím napětím 6 V, protože mohou být napájeny přímo z realizované napájecí jednotky bez nutnosti použití napěťového měniče, a s maximálními otáčkami dosahujícími 300 ot/min bez zatížení, což je dostatečná rychlost. Je možné použít i motory s nižšími maximálními otáčkami. Oproti tomu v případě použití motorů s vyššími maximálními otáčkami by nemusel být točivý moment při zpomalení dostatečný.

3.1.6 Řadič motorů

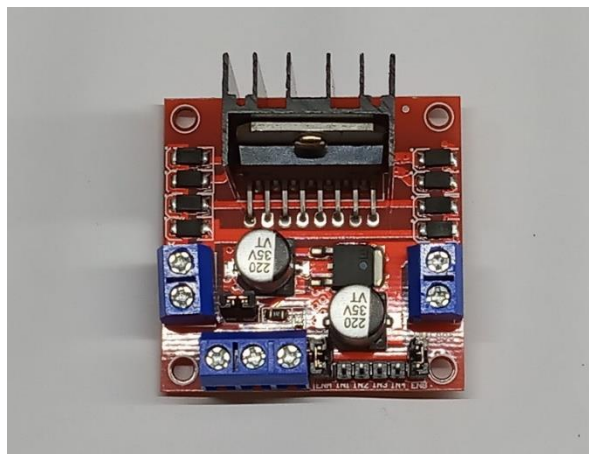
Motory jsou řízeny můstkovými spínači integrovanými v čipu L298N. Tento čip je součástí řadiče ve formě modulu navrženého pro řízení motorů mikroprocesory a je kompatibilní s vývojovými deskami Arduino (Handson Technology, nedatováno). Na obr. 3.10 je schéma zapojení modulu.



Obr. 3.10 – Schéma zapojení řadiče s L298N

Modul kromě integrovaného obvodu L298N obsahuje napěťový regulátor s výstupním napětím 5 V, kterým je napájen obvod L298N a LED indikující připojené napájení. Propojkou lze výstupní napětí regulátoru přivést na pin značený +5V a napájet z něho například řídicí mikroprocesor. Piny ENA a ENB mohou být pomocí propojek trvale připojeny k výstupnímu napětí regulátoru a být tak trvale ve stavu logické 1. Existuje také možnost nevyužívat obsažený napěťový regulátor a napájet čip L298N z externího zdroje. V takovém případě se odstraní propojka přivádějící napájecí napětí do regulátoru a na pin značený +5V se přivede napětí stejné hodnoty, ale z externího zdroje. Výstupy můstkových spínačů obvodu L298N jsou proti zápornému napětí generovaného motory při odpojení napájení chráněny diodami. (Handson Technology, nedatováno). Fotografie modulu je na obr. 3.11.

Je-li využít napěťový regulátor, musí být napájecí napětí řadiče v rozpětí 7 až 35 V. Pokud využít není, nesmí napájecí napětí přesáhnout 46 V. Maximální proud do obou motorů nesmí přesáhnout 2 A. Na přivedeném napětí dochází kvůli napěťovému regulátoru ke ztrátám, proto by mělo být přibližně o 1 V vyšší, než je jmenovité napětí řízených motorů (Handson Technology, nedatováno).



Obr. 3.11 – Modul pro řízení motorů s L298N

V tabulce 3.1 je znázorněna logika řízení motoru A (výstupy OUT1 a OUT2). Je-li na pin ENA přivedena logická 1, je do motoru přiváděno plné napájecí napětí a běží na maximální otáčky. V opačném případě motor není napájen a je vypnutý. Přes pin ENA je možné řídit velikost napájecího napětí a tím i rychlost otáčení motoru signálem PWM. Piny IN1 a IN2 se řídí směr otáčení nebo se jimi brzdí. Směr otáčení uvedený v tab. 3.1 je vztažený ke konstrukci prototypu. Řízení motoru B (výstupy OUT3 a OUT4) probíhá analogicky (ST, 2000).

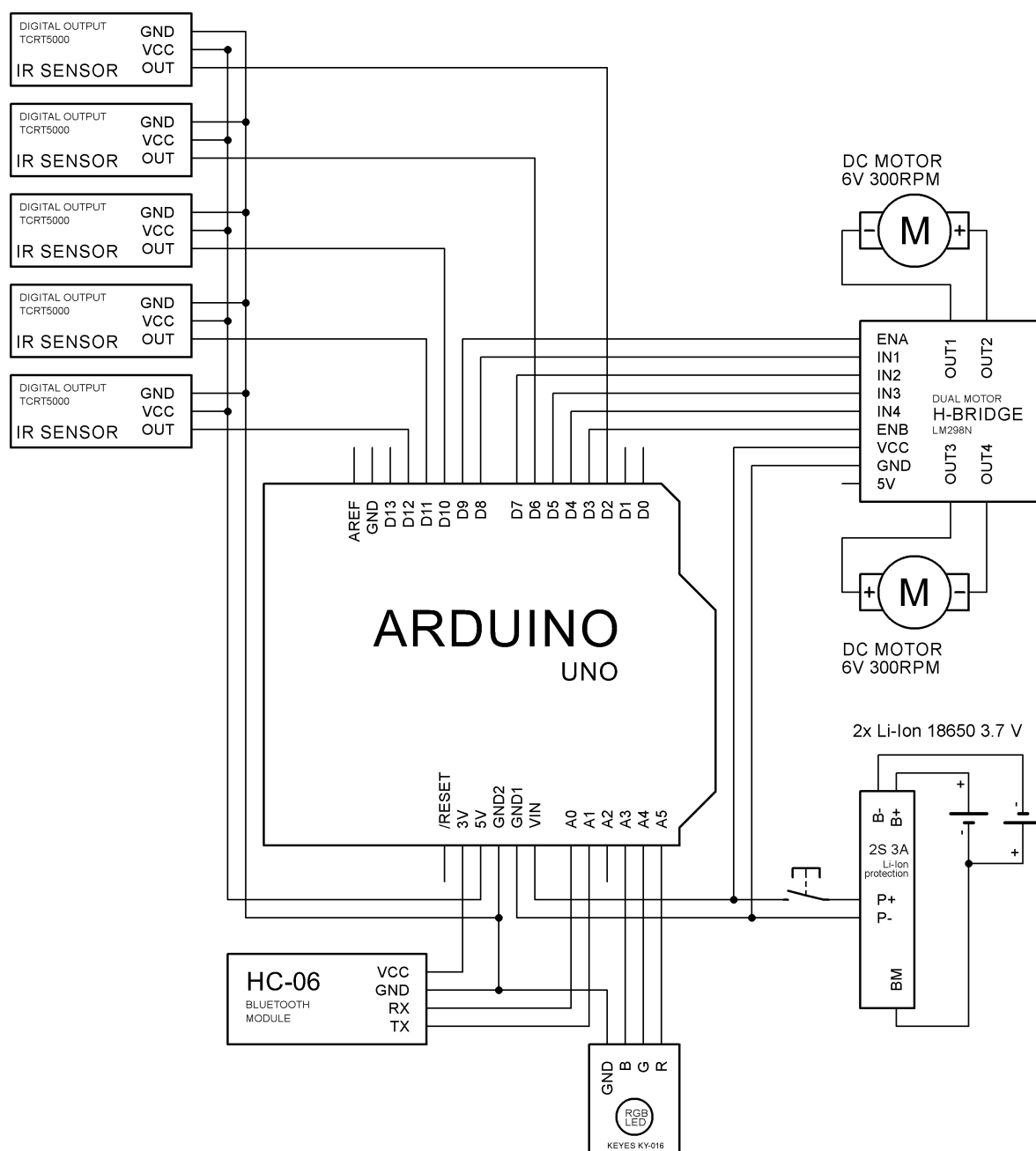
Tab. 3.1 – Logika řízení spínacím můstkem L298N

ENA	IN1	IN2	Stav motoru
0	X	X	Vypnutý
1	1	0	Otáčí se směrem vpřed
1	0	1	Otáčí se směrem vzad
1	0	0	Zastaví se
1	1	1	Zastaví se

3.2 NÁVRH MECHANICKÉ KONSTRUKCE

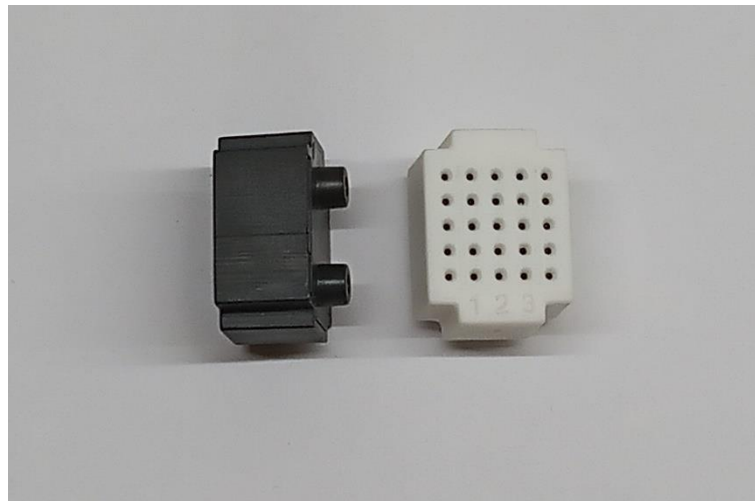
3.2.1 Návrh zapojení

Návrh konstrukce se odvíjel především od rozměrů a zapojení vybraných modulů. Na obr. 3.12 je blokové schéma zapojení. Akumulátory přímo dodávají napájecí napětí přes ochranný obvod 2S3A do vývojové desky Arduino Uno a do řadiče motorů. Arduino Uno je k napájení připojeno piny VIN a GND, protože je to rozměrově úspornější řešení než připojení souosým konektorem. Celý obvod lze odpojit od zdroje napájecího napětí vypínačem.



Obr. 3.12 – Blokové schéma zapojení prototypu

Z vývojové desky jsou napájeny všechny ostatní periferie. Jedná se o pěťici reflektivních IR senzorů, Bluetooth modul HC-06 a RGB LED. IR senzory jsou napájeny napětím 5 V a Bluetooth modul je napájen napětím 3,3 V. RGB LED modul je zapojen v provedení se společnou anodou, proto je připojen pouze k pinu GND a napájen ze vstupně-výstupních pinů napětím 5 V. Rozvody napájecích vodičů mezi periferie jsou realizovány přes mini nepájivé pole, což se při množství vodičů ukázalo jako nejvhodnější řešení. Propojení mezi vývojovou deskou Arduino Uno a periferiemi signálovými a napájecími vodiči je provedeno tak, aby bylo finální zapojení rozměrově co nejúspornější a zároveň, aby bylo těžiště finální konstrukce situováno na vhodném místě, které nedestabilizuje robot při pohybu. Na obr. 3.13 je fotografie zmíněného mini nepájivého pole.



Obr. 3.13 – Mini nepájivé pole

Při volbě konkrétních pinů desky Arduino Uno pro připojení periferií byla brána v úvahu kromě jejich pozice také jejich funkce. Pro řízení otáček obou motorů musí Arduino generovat dva nezávislé PWM signály. K tomu je potřeba využít dvou čítačů mikroprocesoru. Každý čítač má přiřazeny dva piny, které lze využít jako PWM výstup. U čítače 0 jde o piny D5 a D6. Tento čítač je ale využíván funkcemi pro generování zpoždění a měření intervalů, které jsou používány v řídicím algoritmu, proto není možné ho pro generaci PWM signálu využít. Zbývají čítače 1 a 2. Piny D9 a D10 náleží čítači 1 a piny D3 a D11 náleží čítači 2. Jelikož tyto čítače neplní v rámci řídicího algoritmu žádnou jinou funkci, jsou využity ke generaci PWM signálů (Arduino, 2022). Tab. 3.2 znázorňuje propojení periferií s vývojovou deskou, přičemž napájecí propojení jsou pro přehlednost vynechána.

Tab. 3.2 – Propojení periférií s vývojovou deskou

Pin vývojové desky	Pin periferie	Periferie
D0	–	–
D1	–	–
D2	OUT	IR senzor č. 1
D3	ENB	Řadič motorů
D4	IN4	Řadič motorů
D5	IN3	Řadič motorů
D6	OUT	IR senzor č. 2
D7	IN2	Řadič motorů
D8	IN1	Řadič motorů
D9	ENA	Řadič motorů
D10	OUT	IR senzor č. 3
D11	OUT	IR senzor č. 4
D12	OUT	IR senzor č. 5
D13	–	–
A0	RX	Bluetooth modul
A1	TX	Bluetooth modul
A2	–	–
A3	B	RGB LED
A4	G	RGB LED
A5	R	RGB LED

3.2.1 Návrh podvozku

Při návrhu podvozku byl kladen důraz na praktičnost finálního řešení během testování algoritmů a případného rozšíření robotu o další periferie nebo jejich výměnu. To ve výsledku znamená, že vývojová deska Arduino Uno by měla být volně přístupná pro přepojování a programování. Také by měla být po odpojení vodičů snadno vyjímatelná, aby bylo možné ji použít v jiném projektu. Samozřejmostí bylo dodržení rozměrových omezení robotů kategorie micromouse. Robot tedy ve výsledku ve své délce ani šířce nepřesahuje 25 cm.

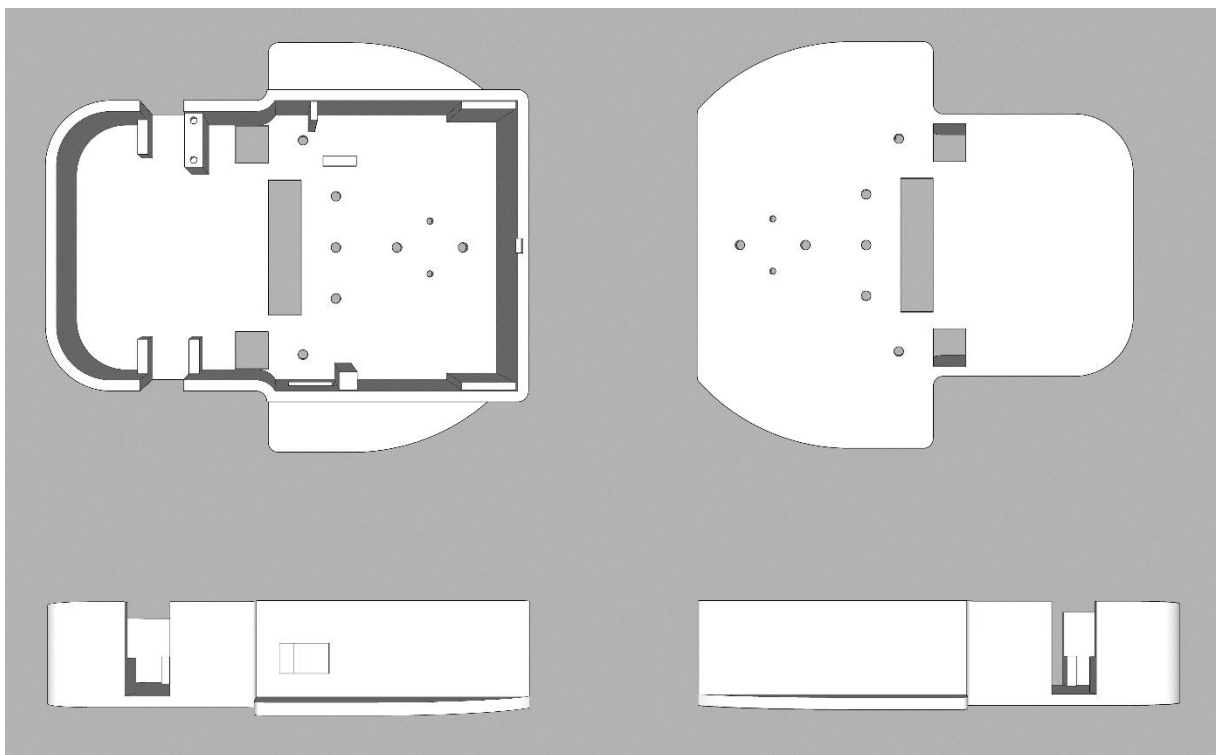
Po vzoru komerčně vyráběných robotů typu micromouse je pohyb robotu realizován dvojicí kol hnaných motory a všesměrovou kuličkou, která zajišťuje stabilitu. Kola jsou určena pro motory s průměrem hřídele 3 mm, což koresponduje s vybranými motory. Použitá kola a všesměrová kulička jsou na obr. 3.14.



Obr. 3.14 – Všesměrová kulička a kola robotu

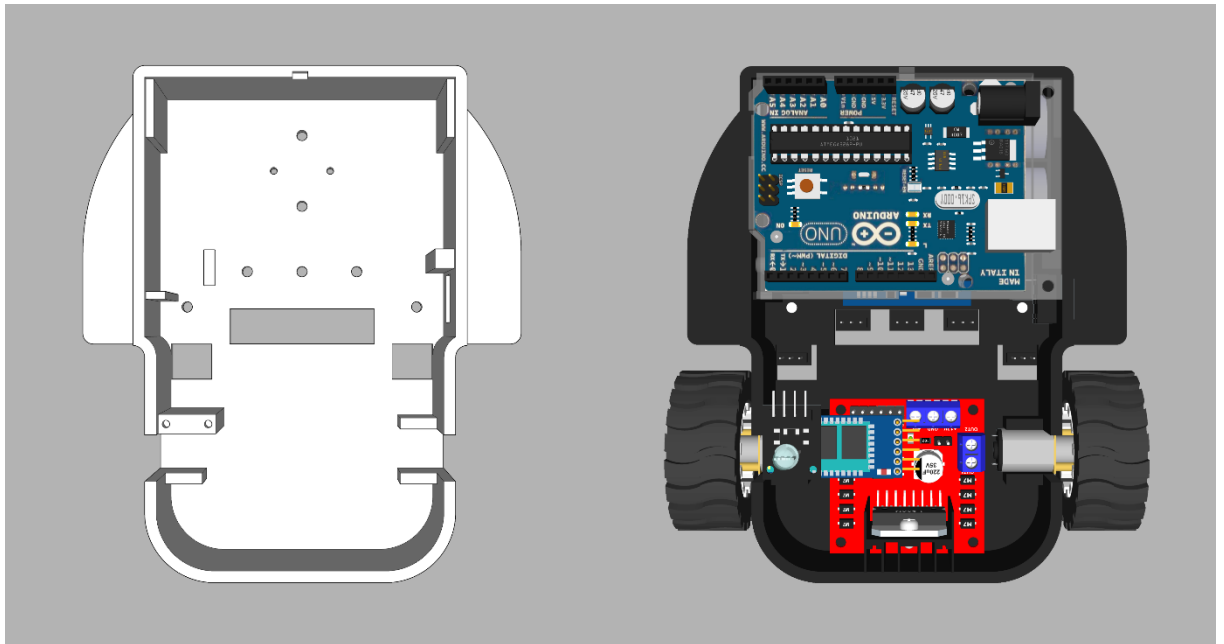
Již od počátku bylo plánováno vytisknutí podvozku na 3D tiskárně, čímž byla předem dána omezující kritéria při jeho návrhu. Při návrhu modelu pro 3D tisk je nutné dodržovat následující pravidla, jinak nebude možné model úspěšně vytisknout. Veškeré geometrické útvary musí mít objem. Tisk probíhá formou vrstvení, proto musí mít každý prvek modelu pevnou základnu. Stěny modelu musí mít dostatečnou tloušťku, která se liší dle technologie tisku. Model také nesmí obsahovat převisy, a pokud je obsahuje, musí být podepřeny podporami, které se po vytisknutí odstraní. To platí i pro otvory ve stěnách. S tím souvisí i orientace modelu na podložce. Model by měl být orientovaný tak, aby byly nejsložitější části tisknuty od pevného základu. Proto je někdy vhodné model rozdělit na více částí a ty poté slepit nebo smontovat (Stratil, 2014).

Tato pravidla byla důsledně dodržována při návrhu podvozku. Základ podvozku je tvořen otevřeným obdélníkovým boxem, do kterého jsou umístěny veškeré komponenty a který je v přední části překryt vývojovou deskou Arduino Uno. Rozměry boxu jsou dány rozpětím mezi koly tvořeným motory a řadičem, ale také rozměry vývojové desky. Uvnitř boxu jsou podpůrné prvky usnadňující montáž komponent. Podvozek byl v přední části doplněn o postranní lišty připomínající křídla, které fungují jako úchytky při přemísťování robota a které jsou v jedné linii s vnější stranou kol. Design podvozku má vynikat svou jednoduchostí. Základový pravidelný čtyřúhelník je doplněn o kruhové výseče tvořící postranní úchytky. Veškeré vnější hrany jsou kruhově zaobleny, čímž je ušetřen materiál a podvozku se dodá větší úhlednosti a elegance. Podvozek je dlouhý 133 mm, široký 124 mm a vysoký 28 mm. Tloušťka stěn a dna je 3 mm. Byly tedy splněny rozměrové podmínky robotů kategorie micromouse. Tisk podvozku byl realizován technologií FDM/FFF z materiálu PETG, kvůli jeho pevnosti a pružnosti. Na obr. 3.15 jsou pohledy na finální design podvozku.



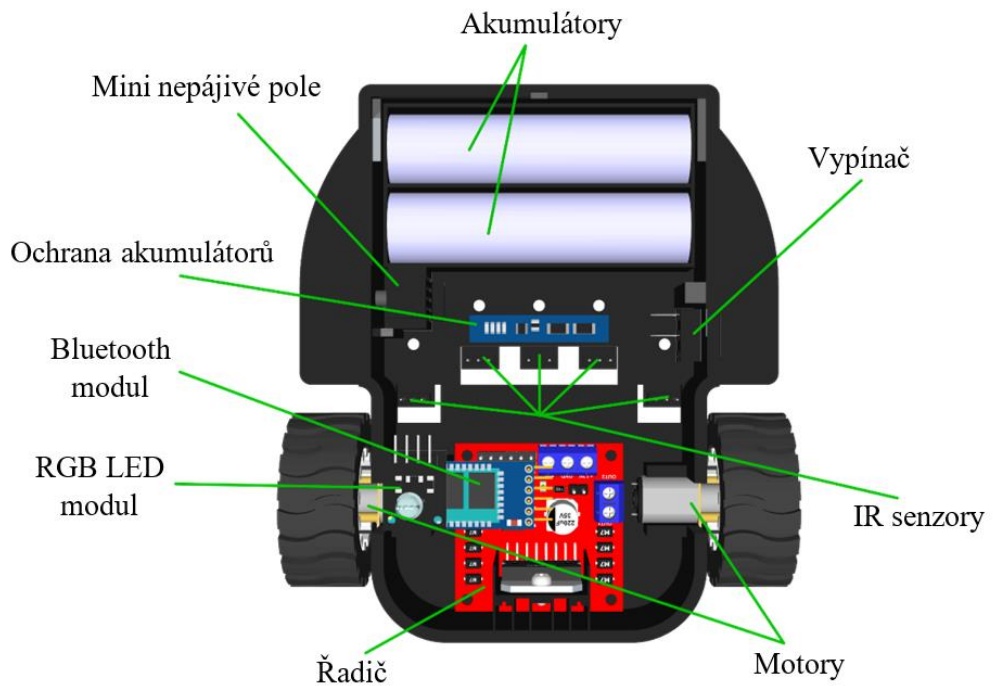
Obr. 3.15 – Pohledy na design podvozku pro 3D tisk

Na obr. 3.16 je porovnání prázdného podvozku, dílu pro 3D tisk, a kompletního robota po montáži. Na obr. 3.17 je pak popis realizovaného prototypu. Robot na obrázku 3.15 z důvodu viditelnosti neobsahuje vývojovou desku Arduino Uno. Na obou obrázcích ze stejného důvodu také nejsou zobrazeny propojovací vodiče.



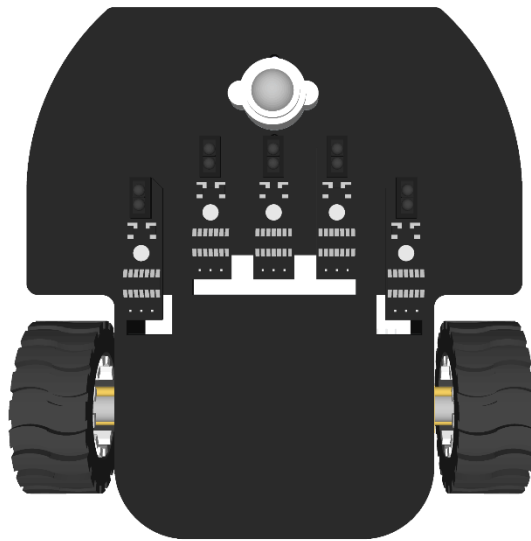
Obr. 3.16 – Porovnání prázdného podvozku a kompletního robotu

Rozmístění jednotlivých komponent vychází z návrhu zapojení. Akumulátory i s ochranným obvodem jsou umístěny v přední části podvozku. Jelikož mají nejvyšší hmotnost ze všech použitých komponent, soustředí se těžiště podvozku do jeho přední části. Podepřením právě této oblasti všesměrovou kuličkou se robot stává stabilnějším.



Obr. 3.17 – Popis realizovaného prototypu

Vývojová deska Arduino Uno je umístěna nad akumulátory, aby k ní byl snadný přístup a také, aby nebyla příliš blízko motorů, které jsou zdrojem elektromagnetického rušení. Pětice senzorů je situována pod podvozkem s vývody ve volném prostoru mezi řadičem a akumulátory. Vypínač a mini nepájivé pole jsou pro snazší rozvod napájení mezi komponenty ve středu podvozku. Na vyvýšené podpoře v dolní levé části podvozku je Bluetooth modul a RGB LED modul, protože z tohoto místa je snadno viditelná indikační LED Bluetooth modulu i samotná RGB LED.



Obr. 3.18 – Pohled na spodní část podvozku

Jak je vidět na obr. 3.18, reflektivní IR senzory jsou na podvozku rozmístěny tak, aby bylo možné detekovat rozhodovací body. Trojice prostředních senzorů detekuje vodící linii a dva postranní senzory detekují pravoúhlé odbočky a křižovatky. Konkrétní ukázky detekcí těchto prvků jsou uvedeny v kapitole 4.5.

4 REALIZACE SOFTWARE PROTOTYPU

Řídicí algoritmus byl vytvořen ve vývojovém prostředí Arduino IDE. Toto prostředí je určeno pro programování AVR mikroprocesorů a jeho hlavními přednostmi jsou jednoduchost a přehlednost. Základní struktura každého algoritmu je tvořena pouze dvěma funkcemi: `setup()` a `loop()`. V rámci funkce `setup()` typicky dochází k hardwarové konfiguraci, což zahrnuje hlavně nastavení vstupně-výstupních pinů. Funkce `loop()` je nekonečná smyčka, ve které běží hlavní algoritmus. Programuje se jazykem specifickým pro Arduino IDE a hojně se využívá zabudovaných i komunitou vytvořených knihoven, které dále zjednodušují celý proces. Zmíněný programovací jazyk obsahuje prvky jazyků C a C++ (Arduino, nedatováno).

Realizovaný řídicí algoritmus je tvořen hlavní nekonečnou smyčkou, ze které jsou volány dílčí funkce. Jedná se o funkce zařizující obsluhu Bluetooth komunikace, čtení stavu IR senzorů, dekodování dat ze senzorů, ovládání motorů a regulaci otáček motorů na základě dekodovaných stavů. Kromě hlavní smyčky program zahrnuje konfiguraci vstupně-výstupních pinů, připojení knihovny pro sériovou komunikaci a inicializaci Bluetooth komunikace, konstant a proměnných.

Robot může pracovat celkem ve čtyřech režimech: Learn, Race, Linefollow a Standby. Režim Learn je určen pro naučení nové cesty bludištěm. Po zvolení tohoto režimu je proto ještě nutné zvolit algoritmus hledání cesty. Jakmile je zvolen algoritmus hledání cesty, robot se rozjede. Při režimu Race robot projíždí bludištěm a v rozhodovacích bodech volí směr podle naučené již zjednodušené cesty, kterou má uloženou v paměti. V režimu Linefollow robot pouze jede podle vodící linie. Do režimu Standby neboli pohotovostního režimu se robot automaticky přepne po zapnutí, resetu nebo dosažení cíle bludiště. V pohotovostním režimu jsou zabrzděné motory a robot pouze čeká na přijetí příkazu přes Bluetooth.

4.1 ALGORITMUS ŘEŠENÍ BLUDIŠTĚ

Před popisem dílčích částí řídicího algoritmu je nutné objasnit základní princip řešení bludiště a orientace v něm. Řešení bludiště se dělí na dvě fáze: hledání cesty a zjednodušení cesty. Princip algoritmu řešení bludiště vychází z (Vannoy, 2009).

4.1.1 Hledání cesty

V této fázi robot sleduje linii cesty, dokud neidentifikuje křižovatku neboli rozhodovací bod. V momentě identifikace rozhodovacího bodu dojde k rozhodnutí, kterým směrem

pokračovat a zvolený směr je uložen do paměti. Do paměti lze kromě rozhodovacích bodů ukládat také zatačky, pokud má robot problém s rozlišením zatačky od rozhodovacího bodu. Směry se ukládají ve formě znaků do znakového pole. Jde o znaky R, L, S, D vycházející z anglických slov Right, Left, Straight a Deadend. V překladu tato slova znamenají vpravo, vlevo, rovně a slepá ulička. Anglické ekvivalenty byly zvoleny, protože jejich počáteční písmeno zůstává stejné i v jiném kontextu. Volba směru závisí na právě nastaveném hledacím algoritmu. Jsou dva hledací algoritmy. První z nich nese název vždy-vpravo. Robot tedy vždy volí směr, který je nejvíce vpravo. Přesnější název by byl nikdy-vlevo, ale ten není tak intuitivní. Druhý algoritmus hledání cesty se nazývá vždy-vlevo a funguje analogicky. Pokud bludiště neobsahuje žádné smyčky, robot tímto způsobem vždy dorazí do cíle. Je zřejmé, že délka výsledné cesty se může lišit podle zvoleného algoritmu. Správný algoritmus vždy volí uživatel, protože robot dle pravidel micromouse soutěží nesmí dostávat konkrétní informace o bludišti z externího zdroje (Vannoy, 2009).

4.1.2 Zjednodušení cesty

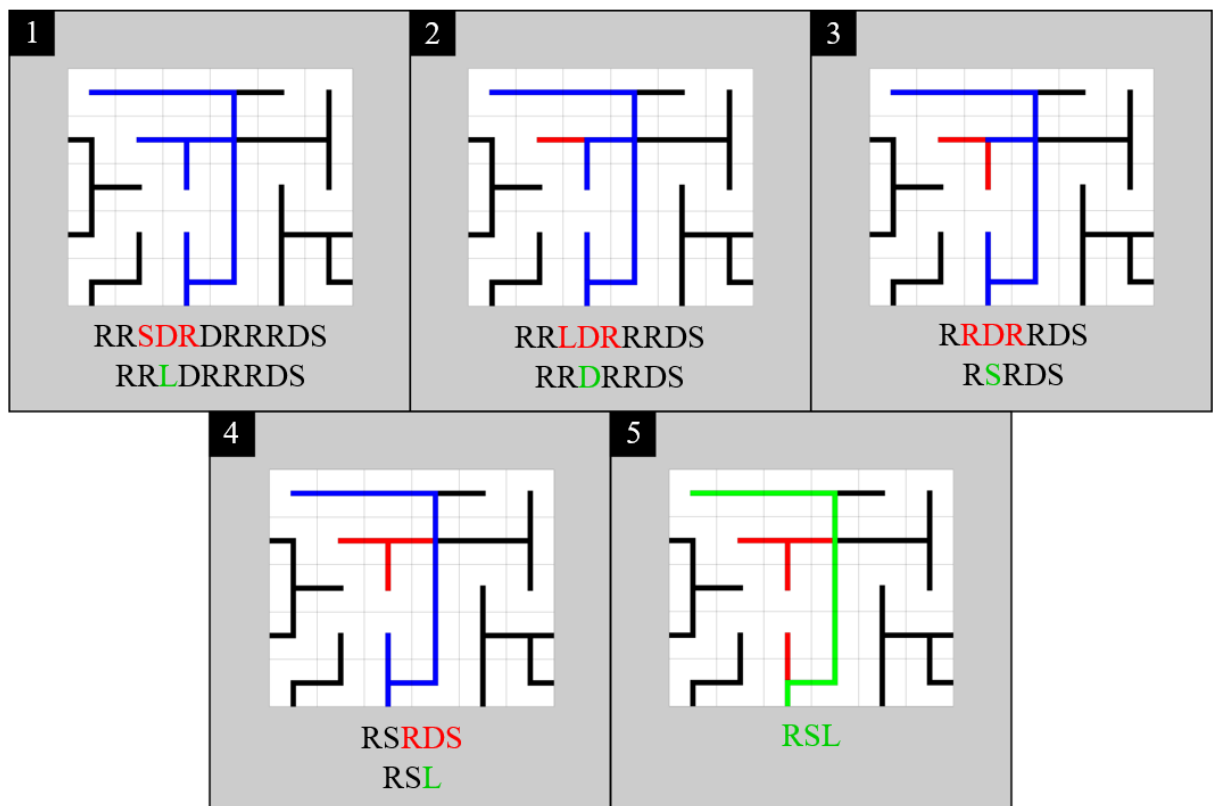
Algoritmus zjednodušení naučené cesty funguje na principu postupné eliminace slepých uliček. Postupně se prohledává znakové pole, ve kterém je naučená cesta uložena. Jakmile je nalezena slepá ulička, značená znakem D, jsou zjištěny znaky na předcházející a následující pozici. Získaná trojznaková kombinace je poté nahrazena jedním znakem podle předdefinovaných nahrazovacích pravidel shrnutých v tab. 4.1. Tímto způsobem je cesta upravována, dokud nejsou eliminovány veškeré slepé uličky (Vannoy, 2009).

Nahrazovací pravidla z tab. 4.1 zahrnují všechny variace, které se mohou v naučené cestě kolem slepé uličky vyskytnout. U některých kombinací není možné slepou uličku přímo eliminovat a tříznaková kombinace musí být nahrazena opět slepou uličkou. Na obr. 4.1 je graficky znázorněn příklad aplikace algoritmu na konkrétní úsek cesty.

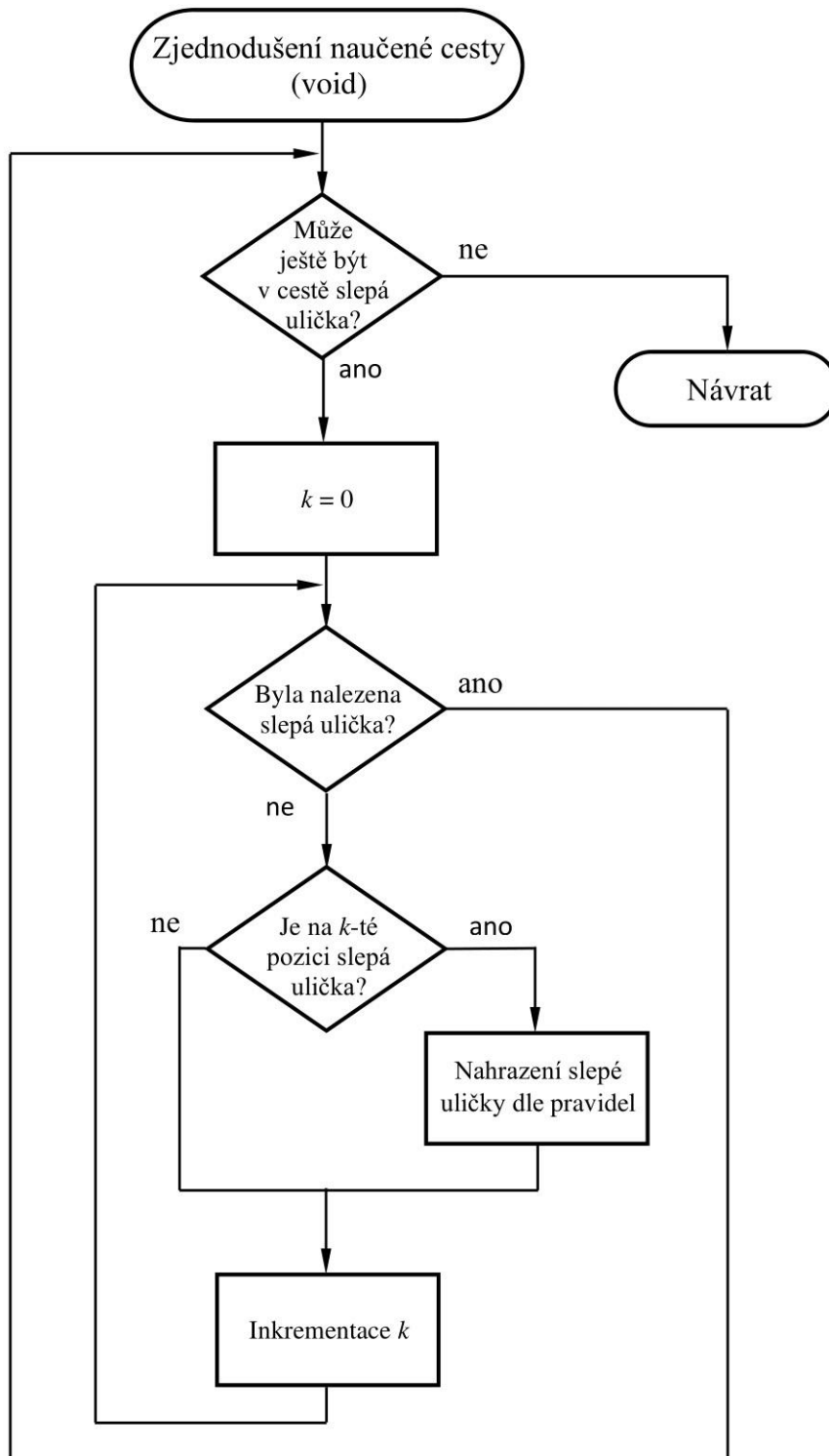
V prvním okénku obr. 4.1 je modře zvýrazněna cesta, kterou se robot naučil použitím algoritmu vždy-vpravo. Pod výřezem bludiště je přepis této cesty uložený v paměti robotu. V přepisu je červeně vyznačena kombinace SDR, která je dle tab. 4.1 nahrazena směrem L. Ve druhém okénku je vyřazený úsek cesty vyznačen červeně a aktuální stav naučené cesty modře. Stejným způsobem je postupováno až do získání finální zjednodušené cesty. V pátém okénku je zeleně zobrazena zjednodušená cesta a červeně odstraněné úseky. Programová implementace algoritmu je znázorněna vývojovým diagramem na obr. 4.2. Vývojový diagram byl mírně zjednodušen, aby byl přehlednější.

Tab. 4.1 – Nahrazovací pravidla při zjednodušování naučené cesty

Původní kombinace	Náhrada
SDS	D
SDR	L
SDL	R
RDS	L
RDR	S
RDL	D
LDS	R
LDR	D
LDL	S



Obr. 4.1 – Ukázka zjednodušení naučené cesty



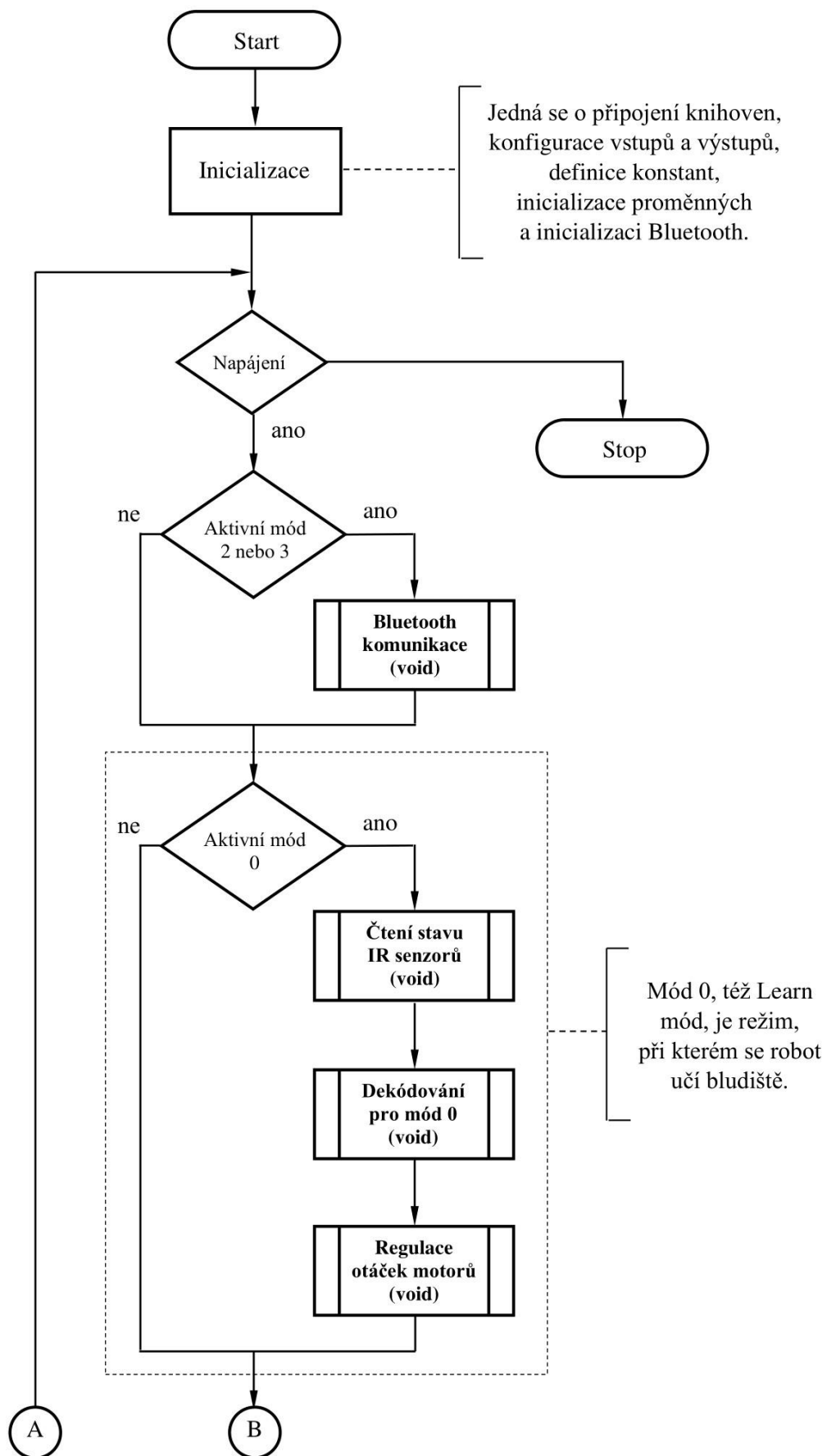
Obr. 4.2 – Vývojový diagram algoritmu pro zjednodušení cesty

4.2 HLAVNÍ SMYČKA PROGRAMU

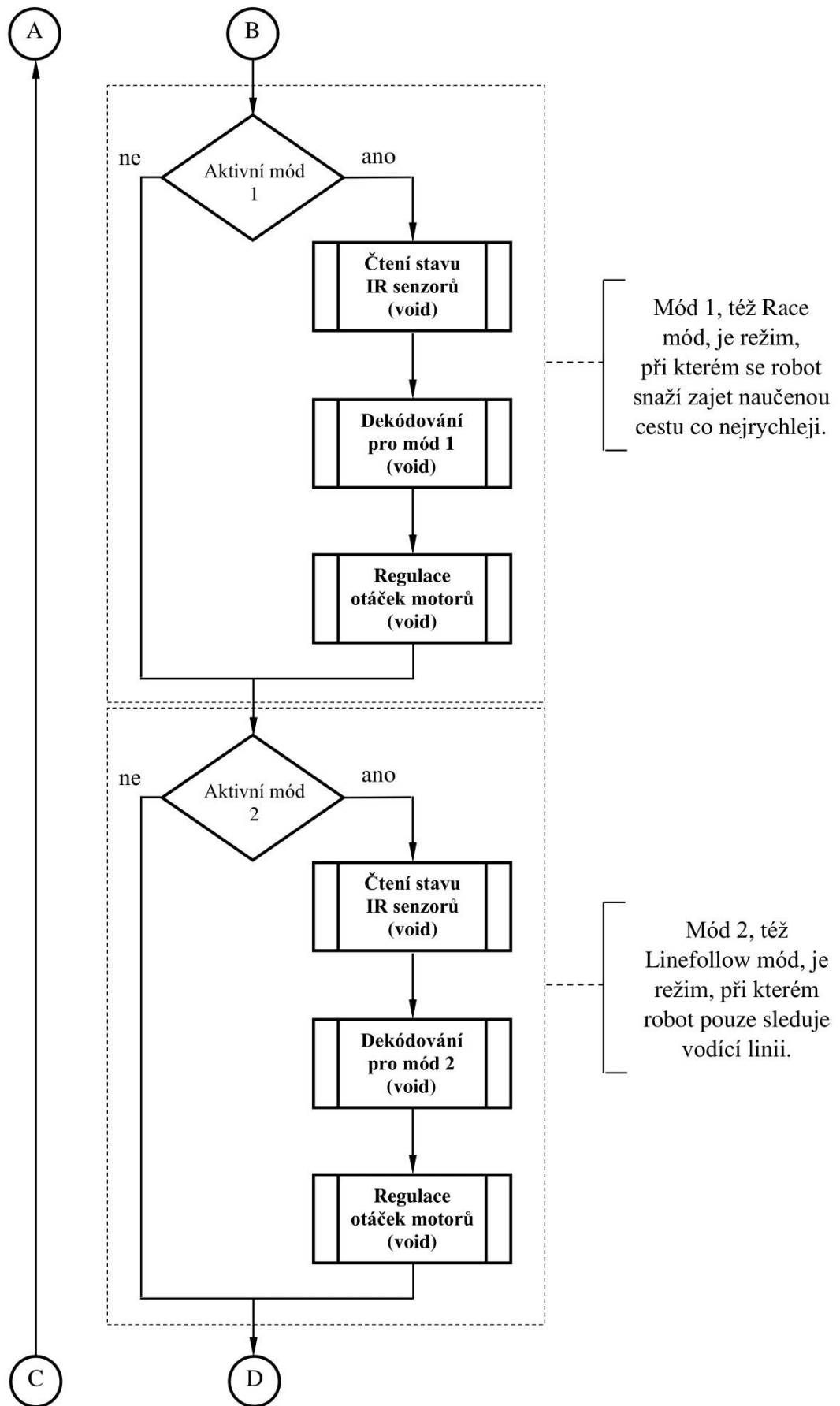
Hlavní smyčka programu je po vzoru standardní struktury algoritmů tvořených ve vývojovém prostředí Arduino IDE nekonečná. To znamená, že se opakuje, dokud je připojeno napájecí napětí. Na začátku každé nové iterace této smyčky je volána funkce pro Bluetooth komunikaci, pokud je v režimu Linefollow nebo Standby. V ostatních režimech není možné robotu zasílat příkazy, protože v soutěžích je zakázáno robot při jízdě bludištěm ovládat. Pro účely testování není problém zasílání příkazů povolit i pro režimy Learn a Race.

Další průběh závisí na právě zvoleném pracovním režimu. Jde-li o režim Learn, indikační LED svítí modře a nejprve je volána funkce pro čtení stavu senzorů. Získaná data jsou následně dekodována a pokud je robot v rozhodovacím bodě, je provedena potřebná akce. Může jít o odbočení určitým směrem, otočení se, zachování jízdy rovně nebo zastavení v cíli. Jelikož akce zahrnující zatačení nebo otáčení vyžaduje složitější ovládání motorů, je pro každou tuto akci implementována samostatná funkce. Každá volba směru jízdy v rozhodovacích bodech je zapsána do paměti. Poslední volaná funkce reguluje rychlost otáčení motorů na základě dat ze senzorů, čímž se robot udržuje na vodící linii. Při režimu Race svítí indikační LED fialově. Průběh režimu Race je velmi podobný. Liší se pouze voláním jiné dekodovací funkce, ve které se směr v rozhodovacích bodech určuje podle cesty uložené v paměti. Režim Linefollow zahrnuje čistě jízdu po vodící linii. Jeho dekodovací funkce tedy vrací pouze informace o odchylce od vodící linie. Při tomto režimu svítí indikační LED červeně.

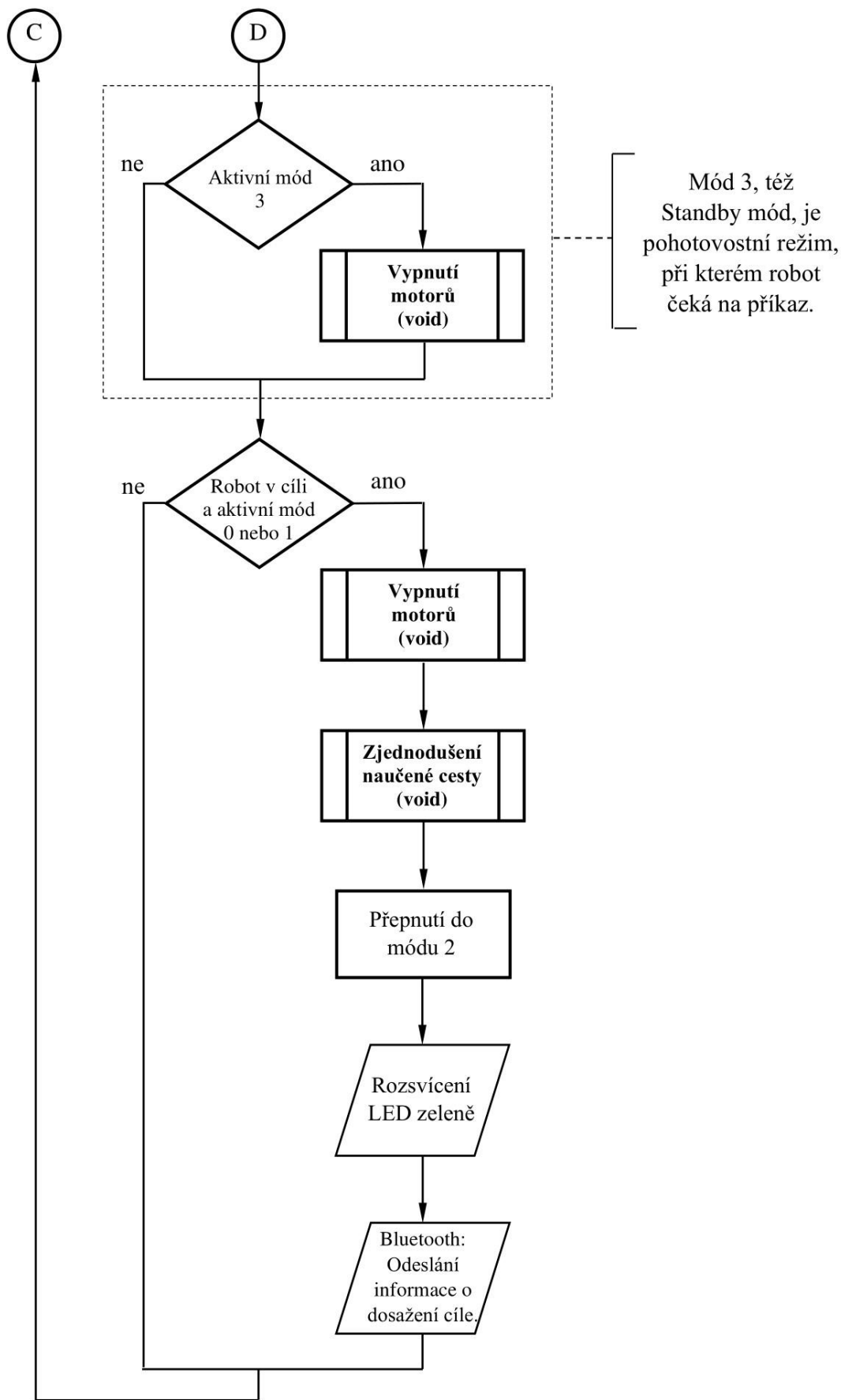
Smyčka končí kontrolou, zda již robot dosáhl cíle. Jestliže se tak stalo, zabrzdí se motory, indikační LED se rozsvítí zeleně a robot je přepnut do Standby režimu. Pokud bylo cíle dosaženo v režimu Learn, je ještě zavolána funkce pro zjednodušení naučené cesty. Vývojový diagram hlavní smyčky programu je po částech zobrazen na obr. 4.3, 4.4 a 4.5.



Obr. 4.3 – První část vývojového diagramu hlavní smyčky programu



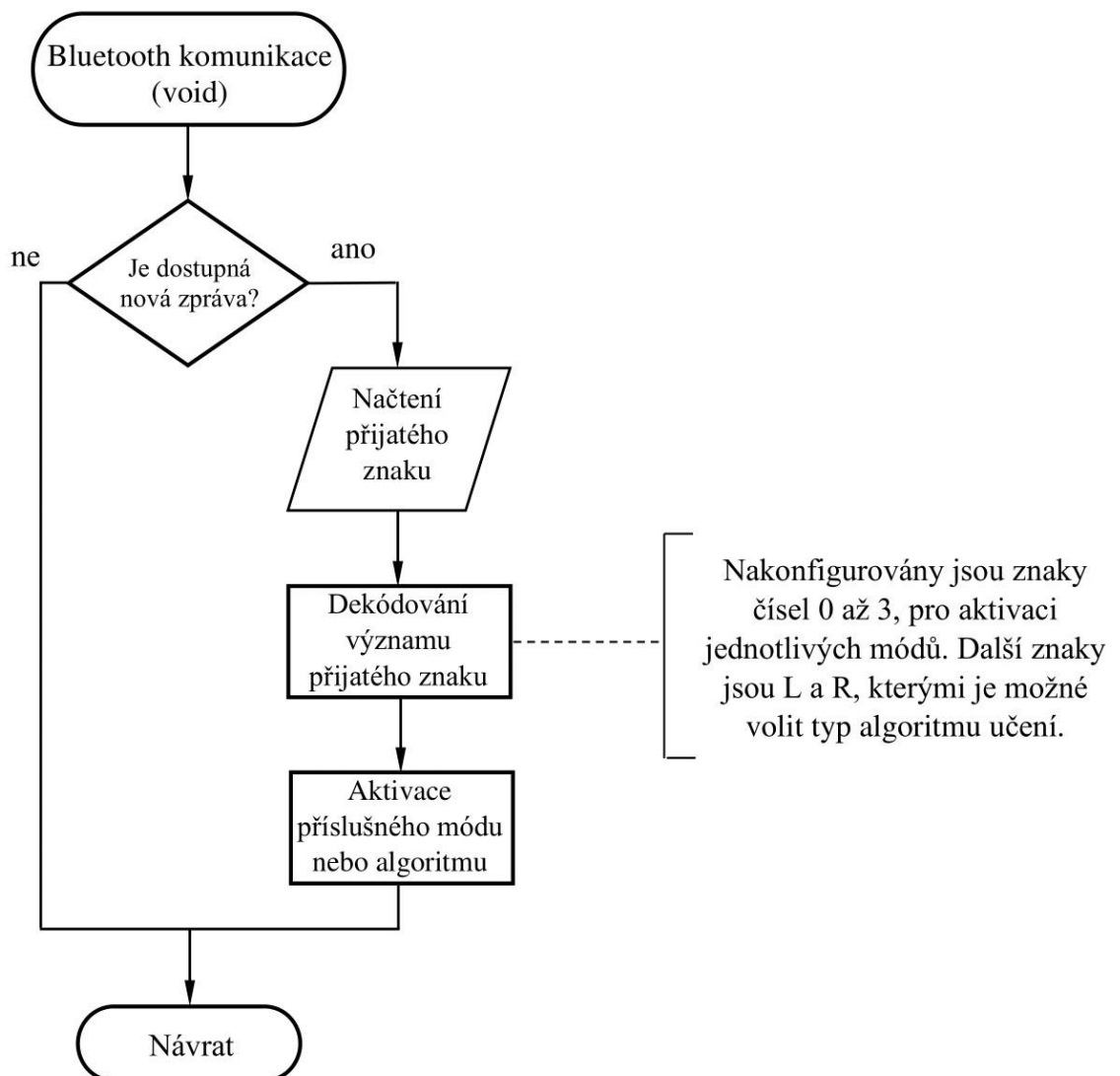
Obr. 4.4 – Druhá část vývojového diagramu hlavní smyčky programu



Obr. 4.5 – Třetí část vývojového diagramu hlavní smyčky programu

4.3 BLUETOOTH KOMUNIKACE

Zprostředkování Bluetooth komunikace je realizováno pomocí funkcí z knihovny SoftwareSerial. Funkce pro Bluetooth komunikaci začíná kontrolou dostupnosti nové zprávy ve formě znaku přes funkci available() ze zmíněné knihovny. Pokud byl přijat nový znak, funkce read() zařídí jeho přečtení a uložení do proměnné. Následuje porovnávání obsahu této proměnné s předdefinovanými možnostmi. Přehled všech příkazových znaků a jejich význam je uveden v tab. 4.2. Je-li přijat jiný znak, je zpět odeslána informace, že se jedná o neznámý příkaz. Na obr. 4.6 je vývojový diagram funkce pro Bluetooth komunikaci.



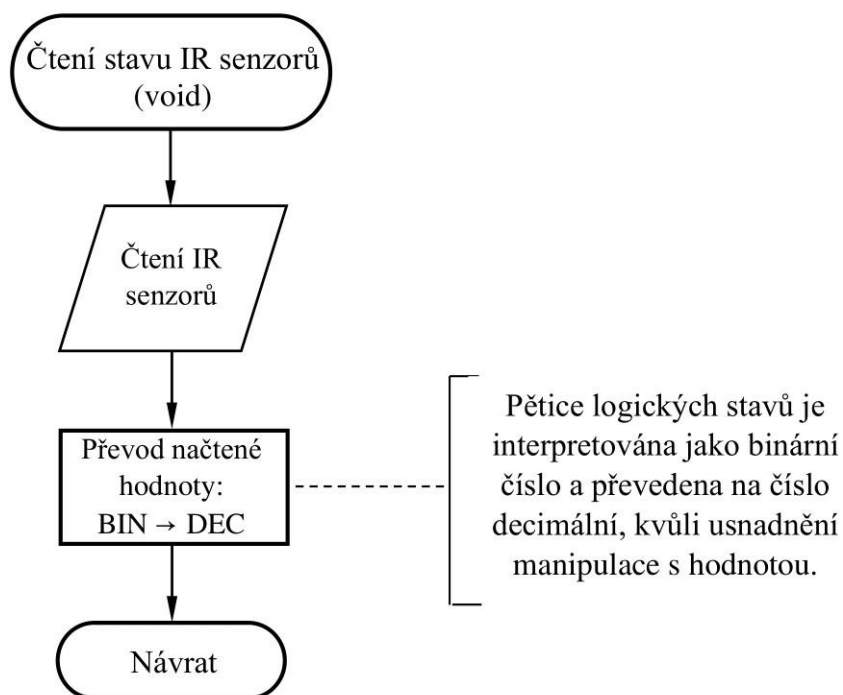
Obr. 4.6 – Vývojový diagram funkce pro Bluetooth komunikaci

Tab. 4.2 – Příkazové znaky a jejich význam

Přijatý znak	Význam
0	Aktivace režimu Learn a čekání na volbu učicího algoritmu
R	Zvolení učicího algoritmu vždy-vpravo
L	Zvolení učicího algoritmu vždy-vlevo
1	Aktivace režimu Race
2	Aktivace režimu Linefollow
3	Aktivace režimu Standby

4.4 ČTENÍ STAVU SENZORŮ

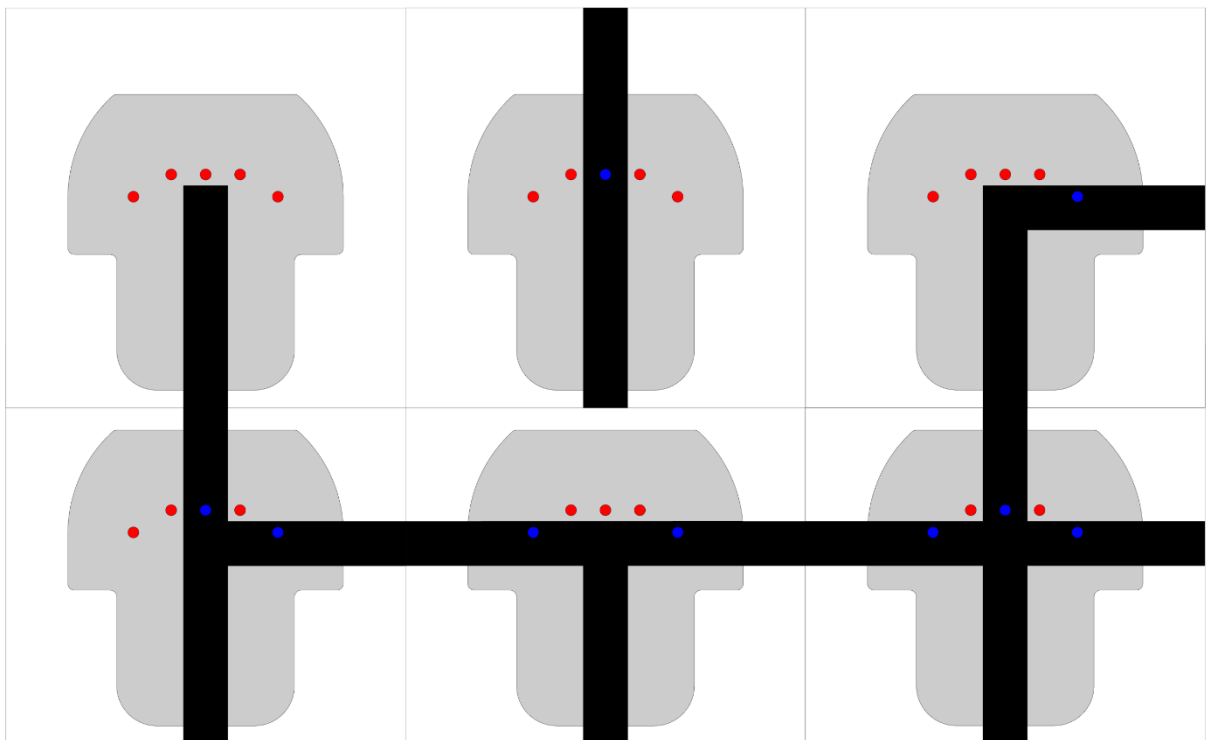
Stav každého z pětice senzorů je přečten zabudovanou funkcí digitalRead() a uložen do pole hodnot. Toto pole je následně interpretováno jako binární číslo a převedeno do desítkové soustavy, čímž je usnadněna pozdější manipulace s hodnotami. Jako nultý bit je interpretován stav senzoru, který je na levé straně při pohledu ve směru jízdy. Vývojový diagram funkce pro čtení stavu senzorů je na obr. 4.7.



Obr. 4.7 – Vývojový diagram funkce pro čtení stavu senzorů

4.5 VYHODNOCOVÁNÍ DAT ZE SENZORŮ

Algoritmy vyhodnocující data ze senzorů zahrnují také vykonání potřebných akcí. Tyto akce se liší dle právě aktivního režimu, a pokud by byly všechny implementovány do jedné funkce, výsledný kód by byl nepřehledný a pomalý. Z tohoto důvodu byla vytvořena dekodovací funkce pro každý režim zvlášť. Funkce pro režim Learn a Race jsou velmi podobné. Obě zahrnují jak detekci odchylky od vodící linie, tak detekci pravoúhlých zatáček a rozhodovacích bodů. Rozdíl je v akci následující jejich detekci. Funkce pro režim Linefollow zahrnuje pouze detekci odchylky od vodící linie. Všechny tři funkce jsou detailněji popsány v následujících podkapitolách.



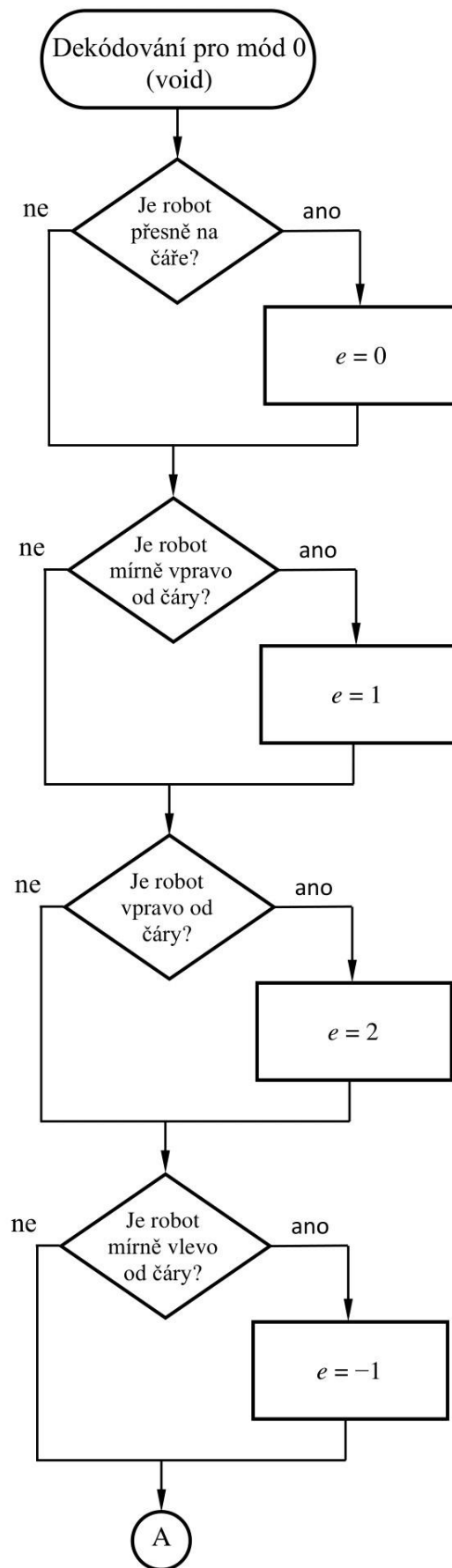
Obr. 4.8 – Ukázka stavů senzorů při detekci některých prvků cesty

Když IR senzorický modul detekuje silně absorpční tmavý povrch, je na jeho výstupu logická 0. Pokud je detekovaný povrch světlý, vrací senzor logickou 1. Na obr. 4.8 jsou ukázky stavů senzorů při detekci některých prvků cesty. Červeně je zobrazen stav detekce světlého povrchu a modře stav detekce tmavého povrchu. V ukázkách je robot perfektně zarovnán s vodící linií, což není vždy možné, protože při regulaci jízdy po čáře nevyhnutelně dochází k mírnému kmitání kolem středu vodící linie. Proto musí být v algoritmu zahrnuty i varianty, kdy robot do rozhodovacího bodu dojede šikmo.

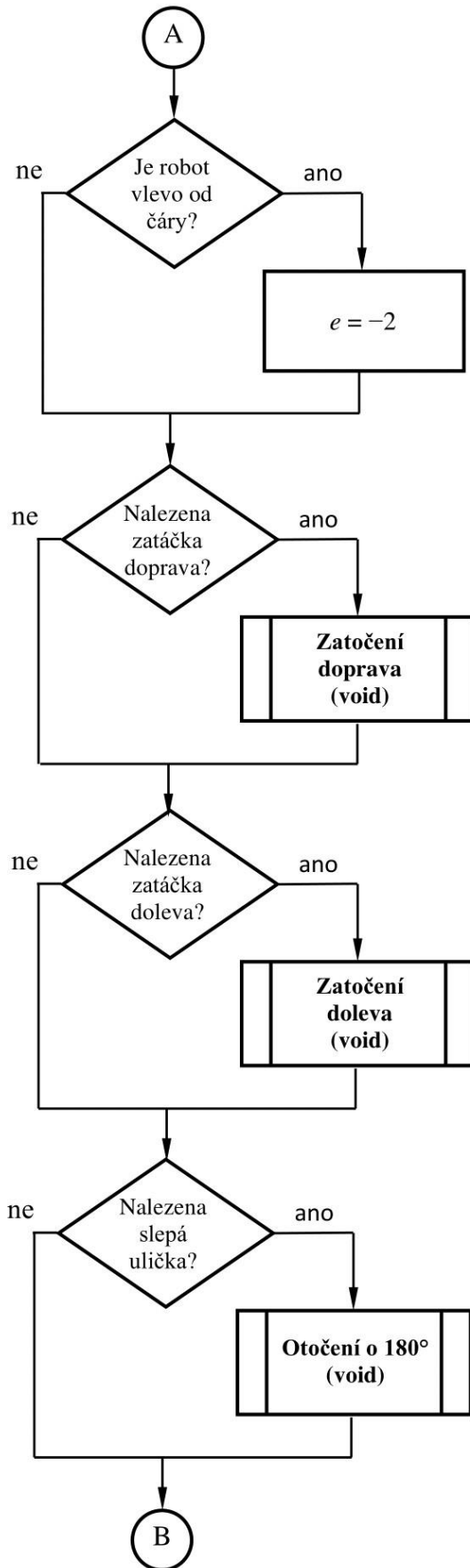
4.5.1 Dekódování v režimu Learn

Základem této i ostatních dekódovacích funkcí je detekce odchyly od vodící linie. Pokud není robot na žádané pozici, kdy je vodící linie detekována pouze prostředním senzorem, je do proměnné odchyly zapsána hodnota 1 nebo 2 v závislosti na míře vychýlení. S hodnotou odchyly dále pracuje funkce, která reguluje otáčky motorů.

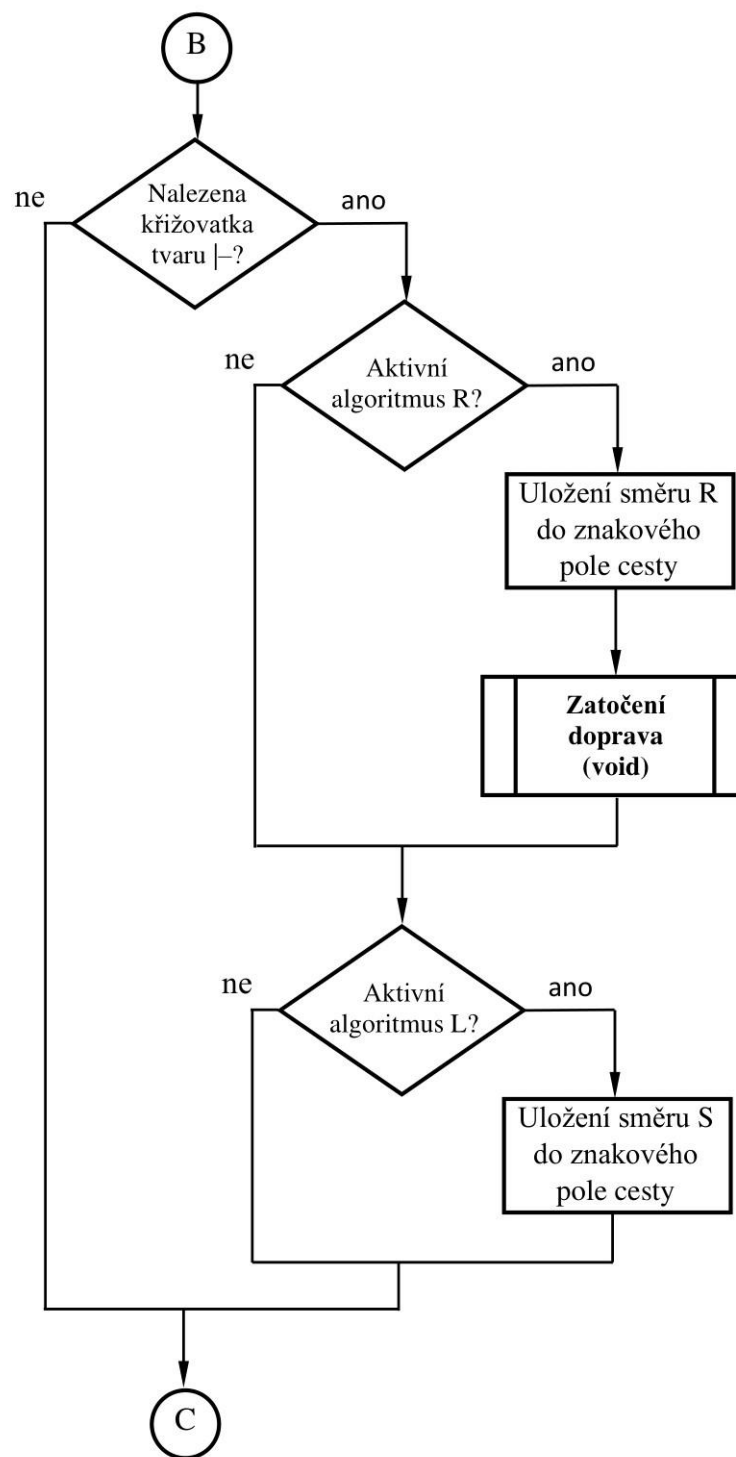
Kromě detekce odchyly od vodící linie jsou dále detekovány zatačky a rozhodovací body. Jakmile je jeden z těchto prvků cesty detekován, robot volí směr, kterým bude pokračovat. Zvolený směr závisí na právě aktivním učicím algoritmu. Po volbě směru je volána funkce, která zařídí obsluhu motorů pro zatočení o 90° odpovídajícím směrem, nebo robot pokračuje v jízdě rovně. Vybraný směr je zapsán do znakového pole cesty. Vývojový diagram dekódovací funkce pro režim Learn je rozdělen mezi obr. 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 a 4.14.



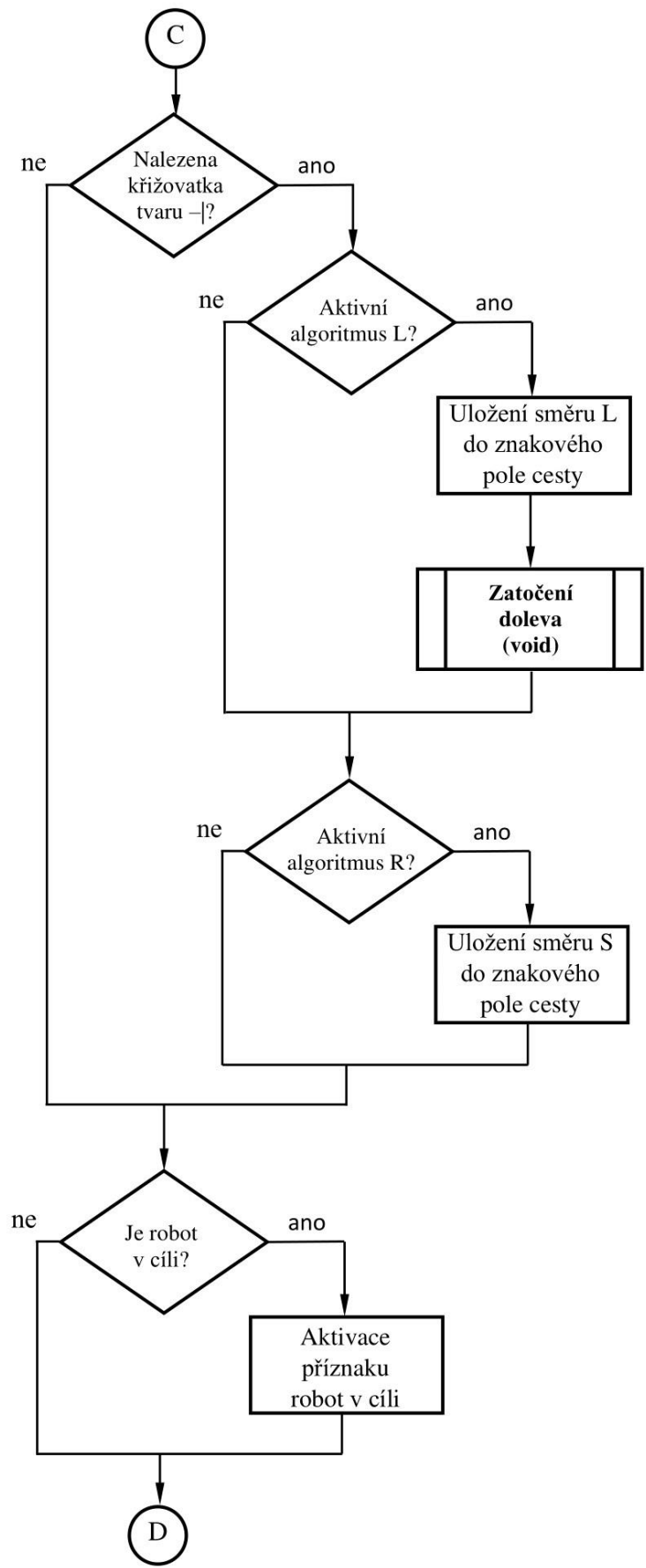
Obr. 4.9 – První část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Learn



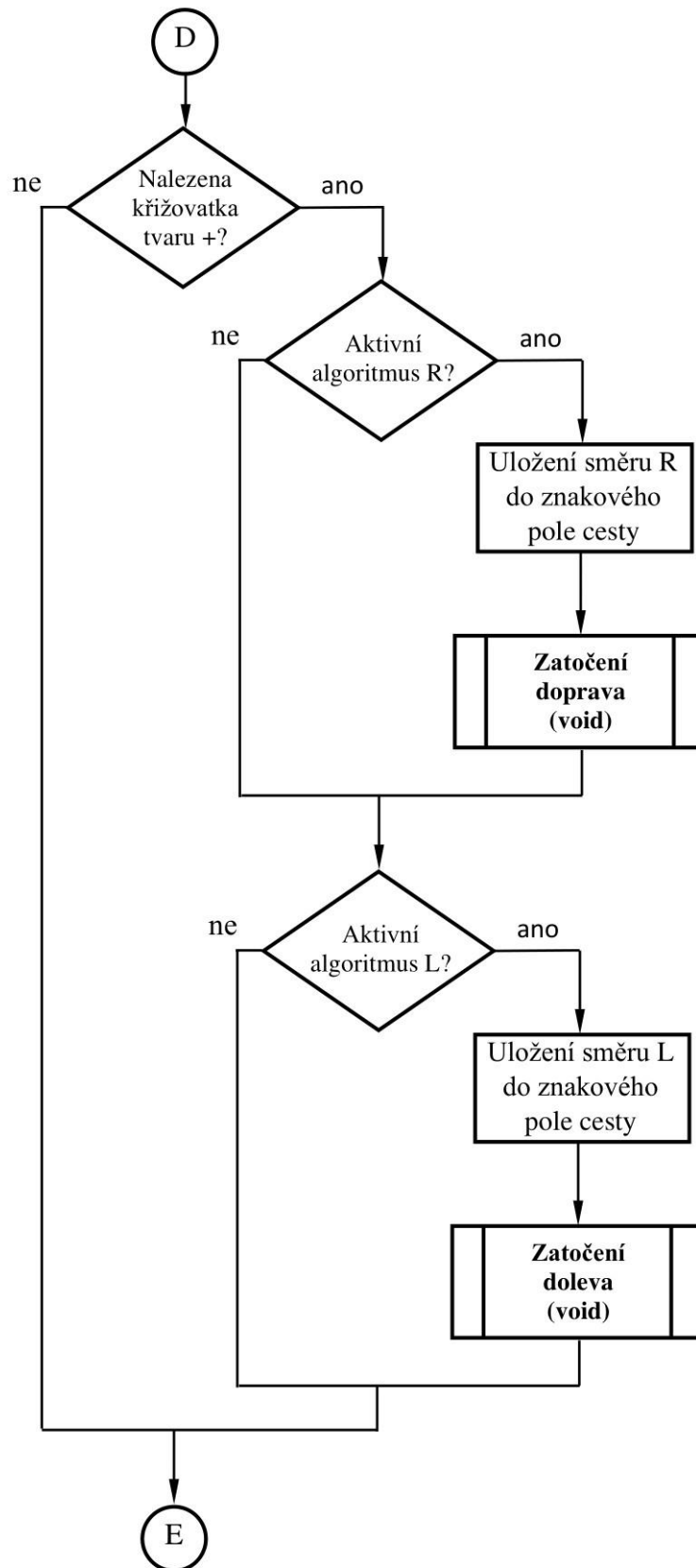
Obr. 4.10 – Druhá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Learn



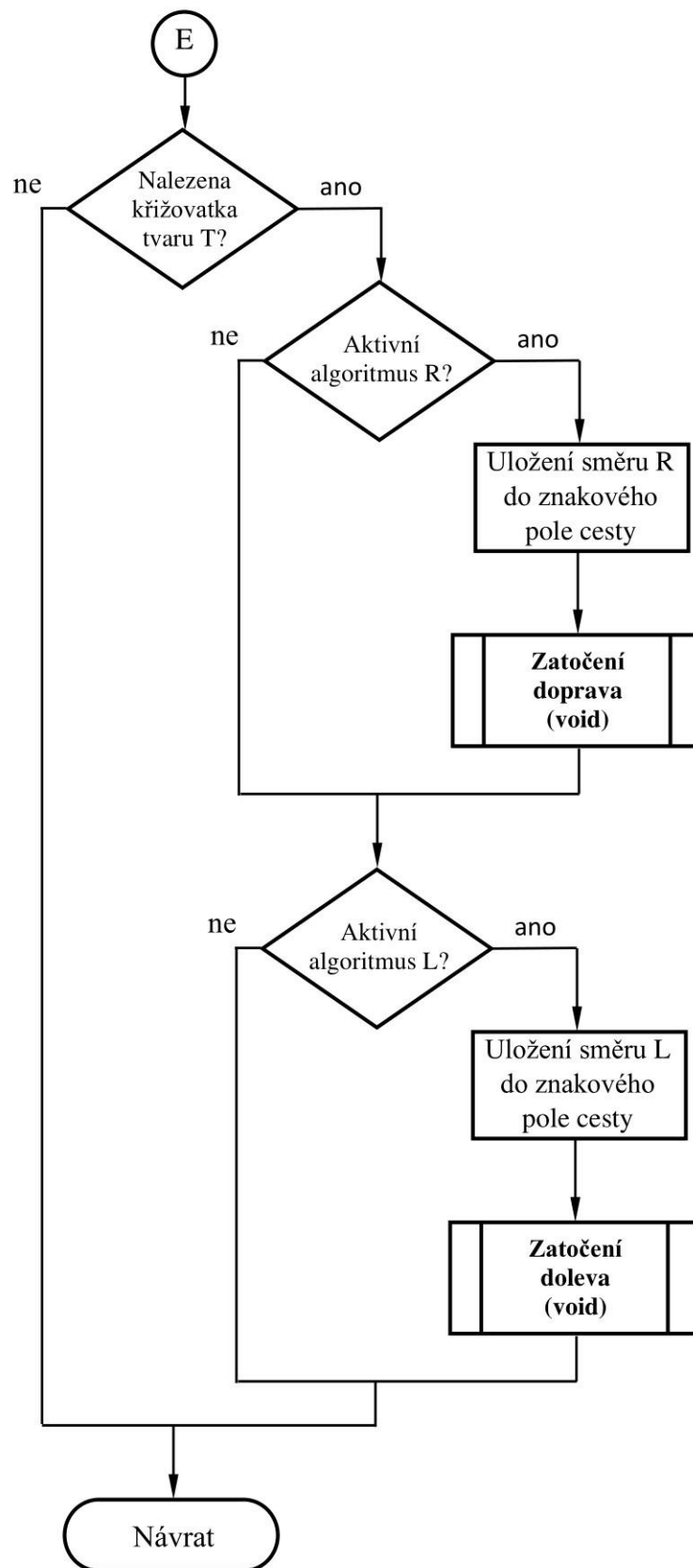
Obr. 4.11 – Třetí část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Learn



Obr. 4.12 – Čtvrtá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Learn



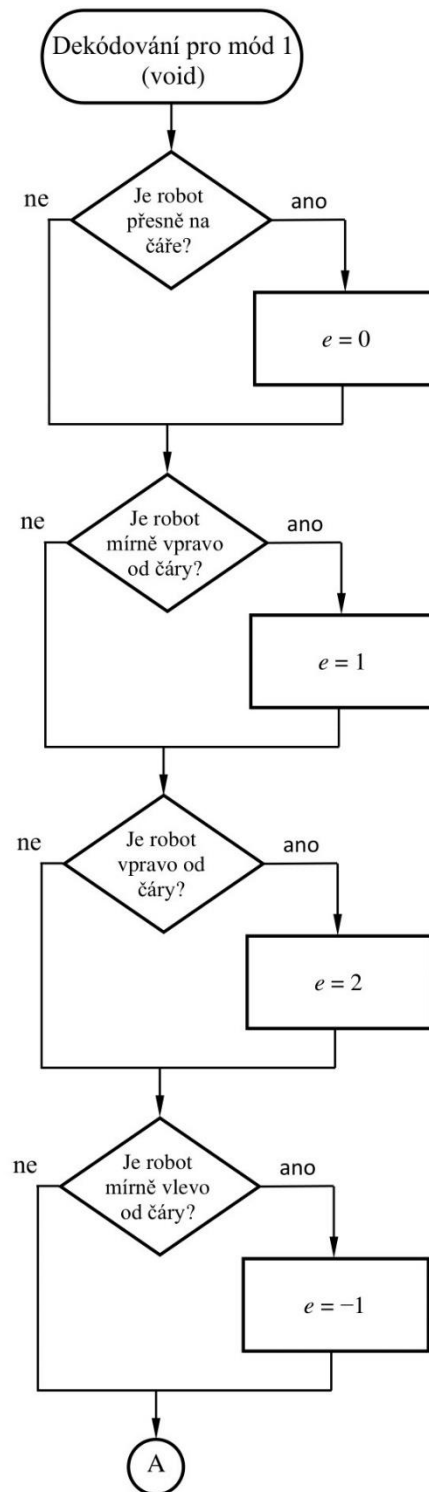
Obr. 4.13 – Pátá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Learn



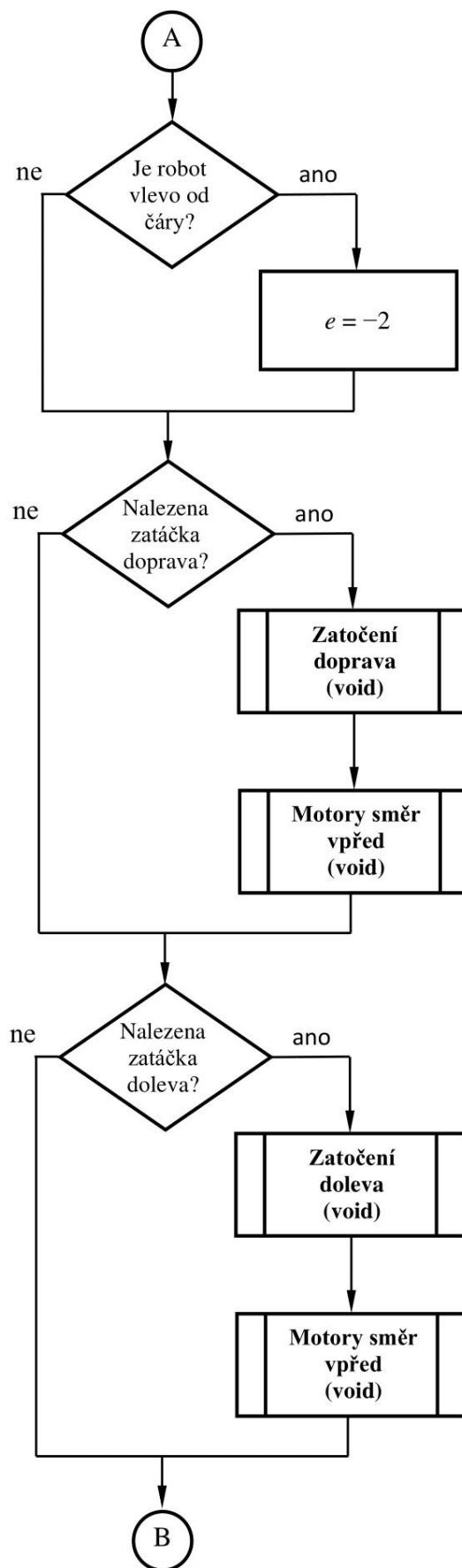
Obr. 4.14 – Šestá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Learn

4.5.2 Dekódování v režimu Race

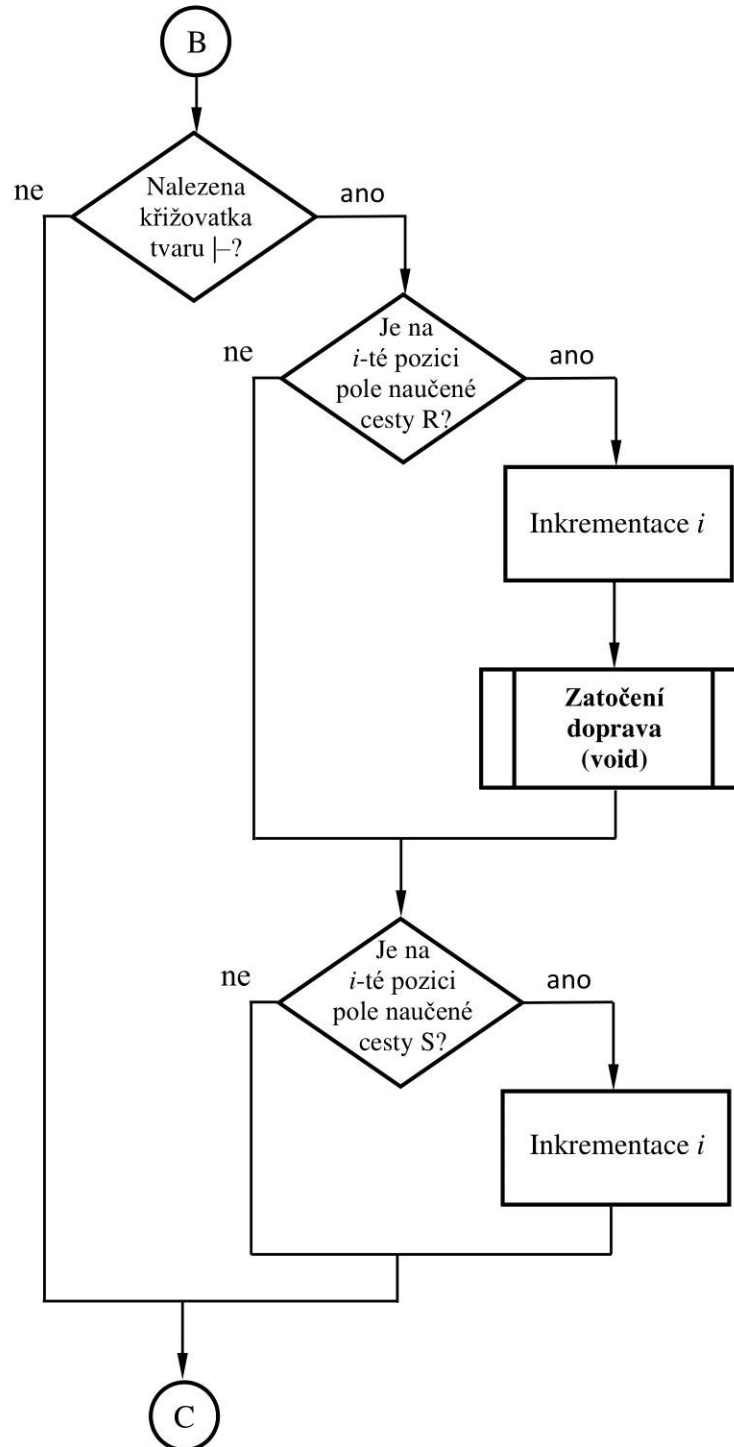
Dekódovací funkce režimu Race detekuje rozhodovací body stejným způsobem jako funkce režimu Learn. Směr je ale volen podle naučené cesty uložené v paměti. Na obr. 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 a 4.20 je vývojový diagram dekódovací funkce pro režim Race.



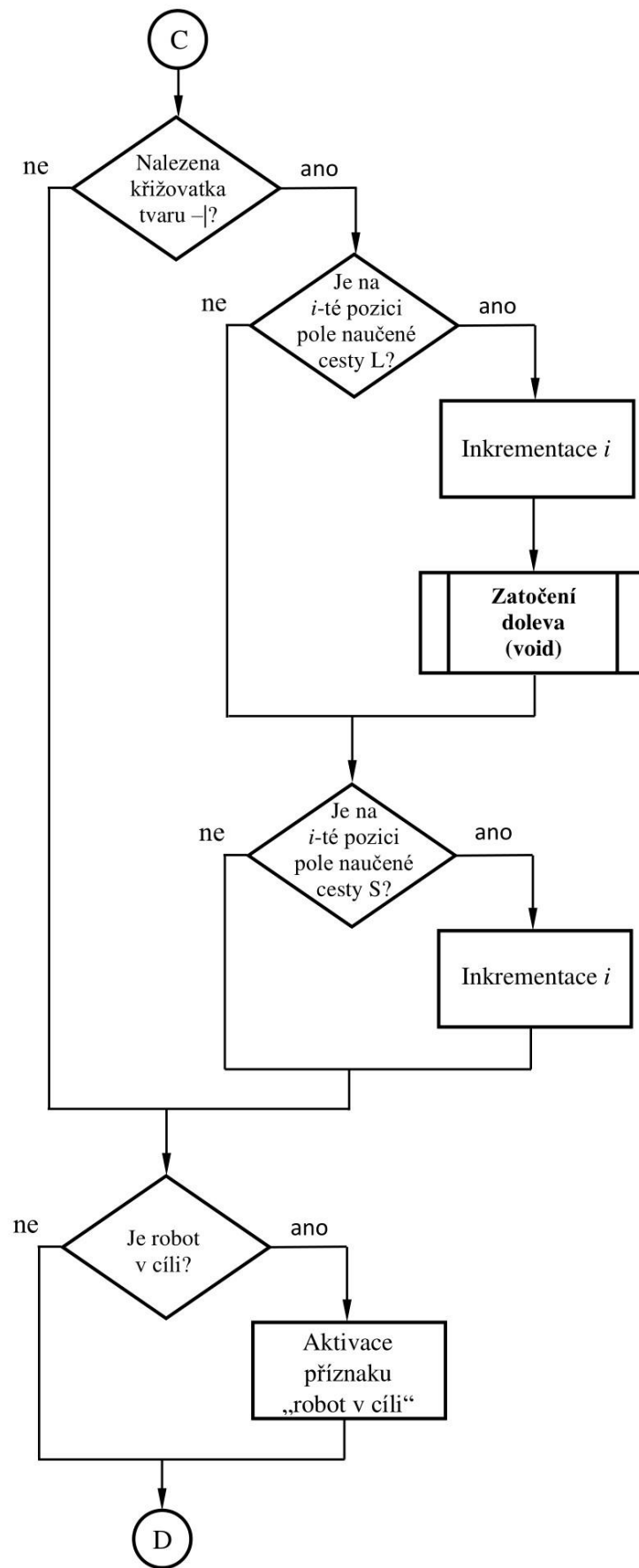
Obr. 4.15 – První část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Race



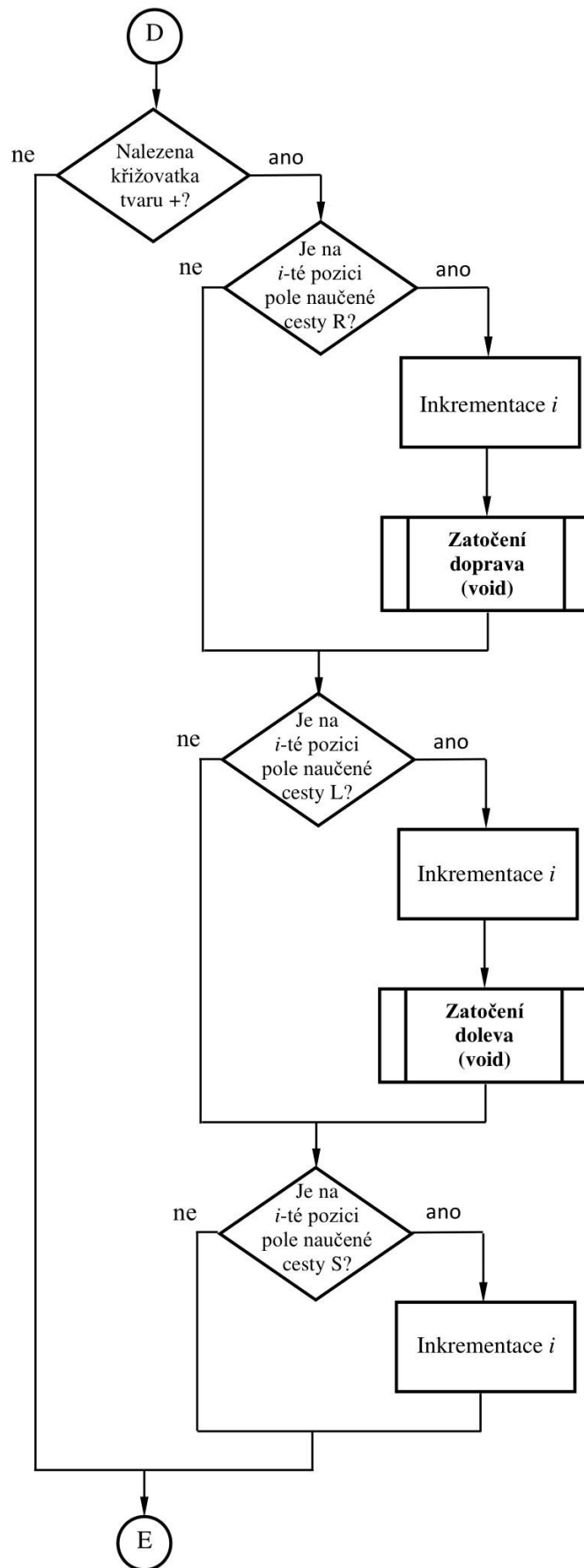
Obr. 4.16 – Druhá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Race



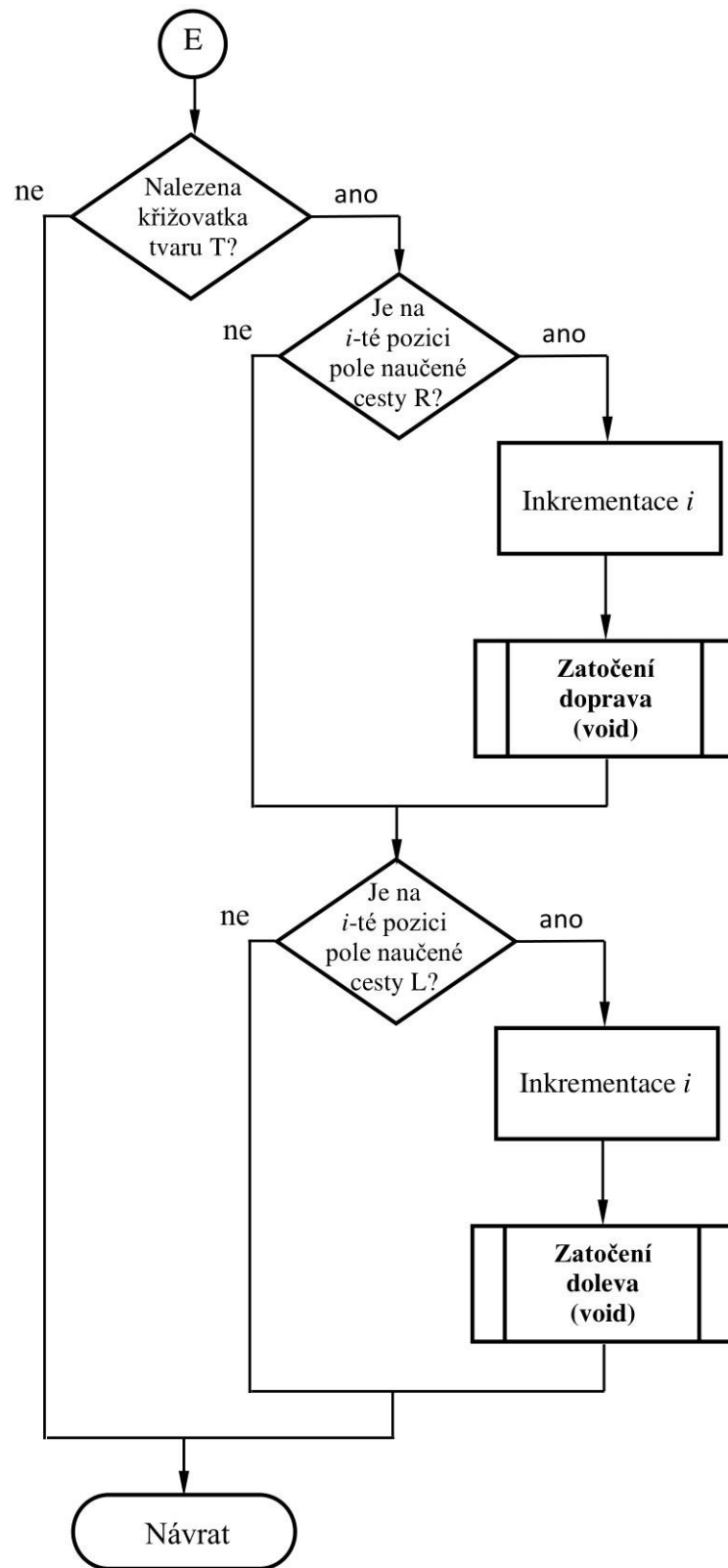
Obr. 4.17 – Třetí část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Race



Obr. 4.18 – Čtvrtá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Race



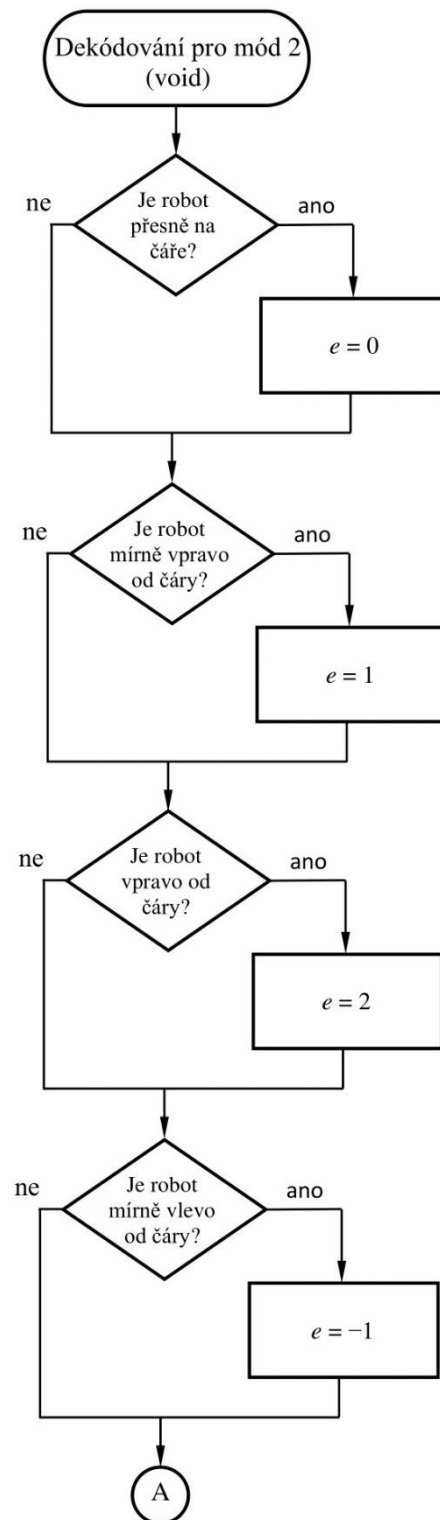
Obr. 4.19 – Pátá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Race



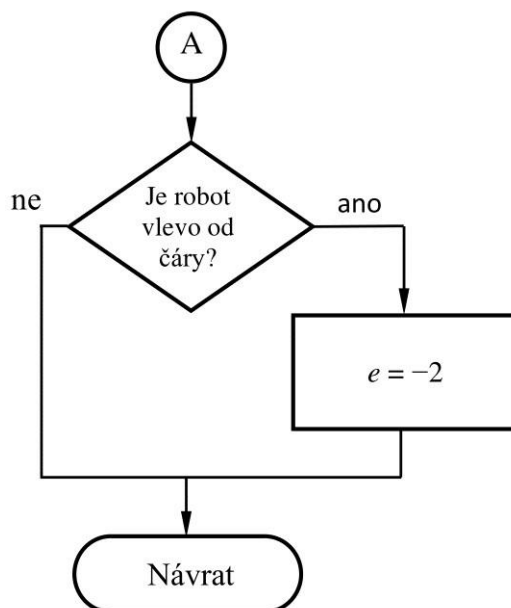
Obr. 4.20 – Šestá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Race

4.5.3 Dekódování v režimu Linefollow

Dekódování v režimu Linefollow zahrnuje pouze kontrolu odchylky od vodící linie. Vývojový diagram této funkce je na obr. 4.21 a 4.22.



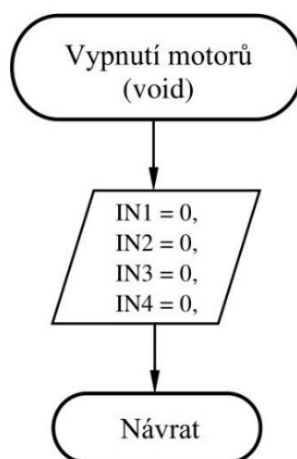
Obr. 4.21 – První část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Linefollow



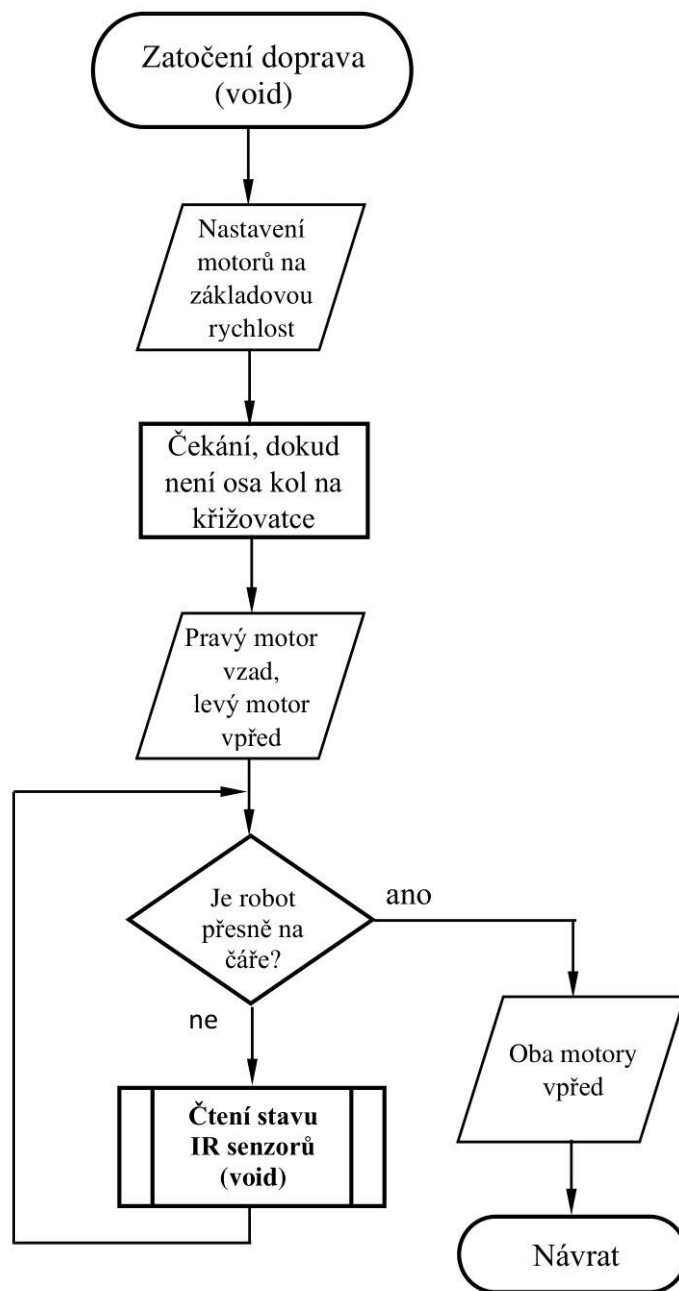
Obr. 4.22 – Druhá část vývojového diagramu dekódovací funkce režimu Linefollow

4.6 ŘÍZENÍ MOTORŮ

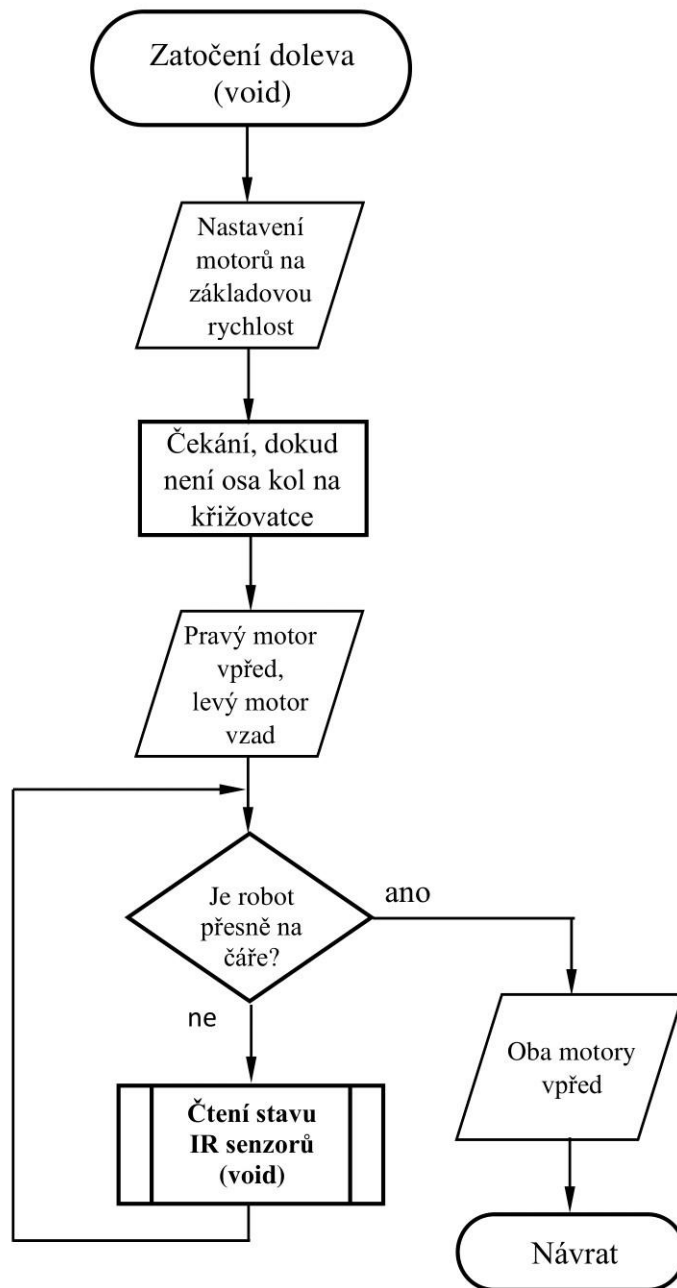
Motory jsou řízeny přes vstupní piny řadiče, jak je uvedeno v tab. 3.1. Rychlost otáčení je řízena PWM signálem. Opět je využito standardních zabudovaných vstupně-výstupních funkcí. Digitální logické signály jsou generovány funkcí digitalWrite() a PWM signál je generován funkcí analogWrite(). Funkce analogWrite() má rozlišení 8 bitů, přičemž hodnota 255 odpovídá střídě 100 %. Vypnutí motorů a složitější manévry jsou implementovány jako funkce. Jde o zatočení doleva a doprava o 90° a otočení o 180°. Vývojové diagramy funkcí jsou na obr. 4.23, 4.24, 4.25 a 4.26.



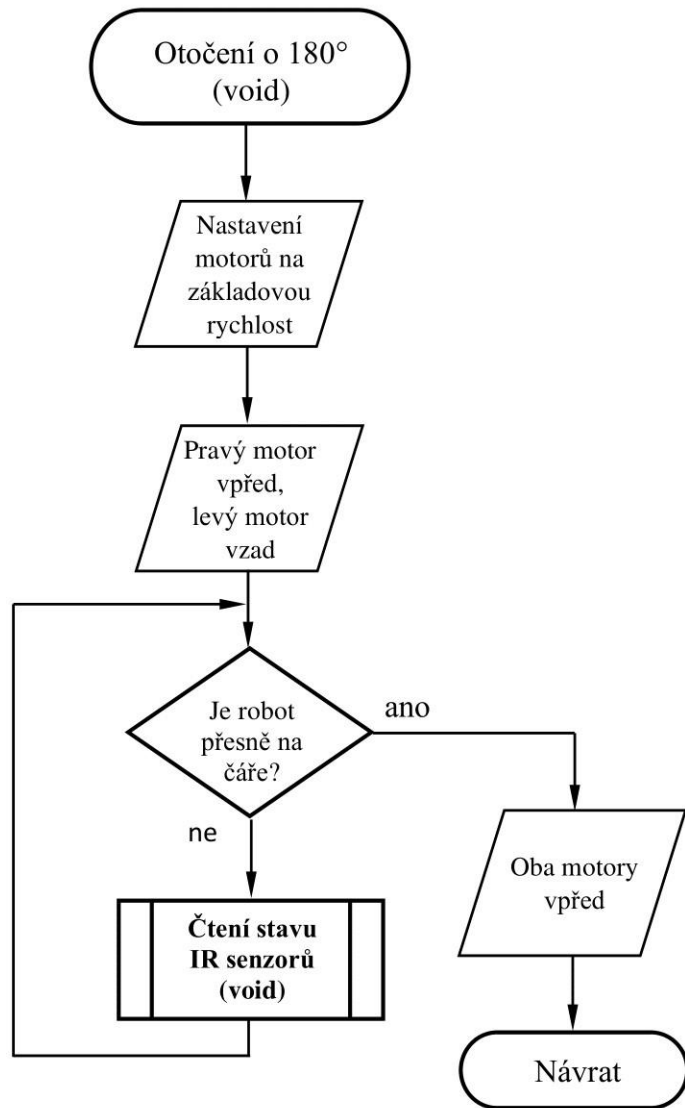
Obr. 4.23 – Vývojový diagram funkce pro vypnutí motorů



Obr. 4.24 –Vývojový diagram funkce pro zatočení doprava



Obr. 4.25 –Vývojový diagram funkce pro zatočení doleva



Obr. 4.26 –Vývojový diagram funkce pro otočení o 180°

4.7 REGULACE JÍZDY PO ČÁŘE

Pohonný systém robotu je tvořen dvojicí motorů, proto lze rozdílem mezi otáčkami motorů mírně měnit směr jízdy. Funkce regulace jízdy po čáře mění rychlost otáčení motorů podle detekované odchylky a tím udržuje robot na vodící linii. Pro tyto účely je využito PID regulace s diskretním krokem. Proporcionální složka je implementována vztahem

$$P(k) = e(k), \quad (4.1)$$

integrační složka vztahem

$$I(k) = I(k - 1) + e(k), \quad (4.2)$$

a derivační složka vztahem

$$D(k) = e(k) - e(k - 1), \quad (4.3)$$

kde $k \in \mathbb{N}_0$ – pořadí diskretního kroku,

$e \in \{-2; -1; 0; 1; 2\}$ – odchylka.

Záporné hodnoty odchylky odpovídají vychýlení robotu směrem vlevo od vodící linie. Akční veličina je vypočtena dle vztahu

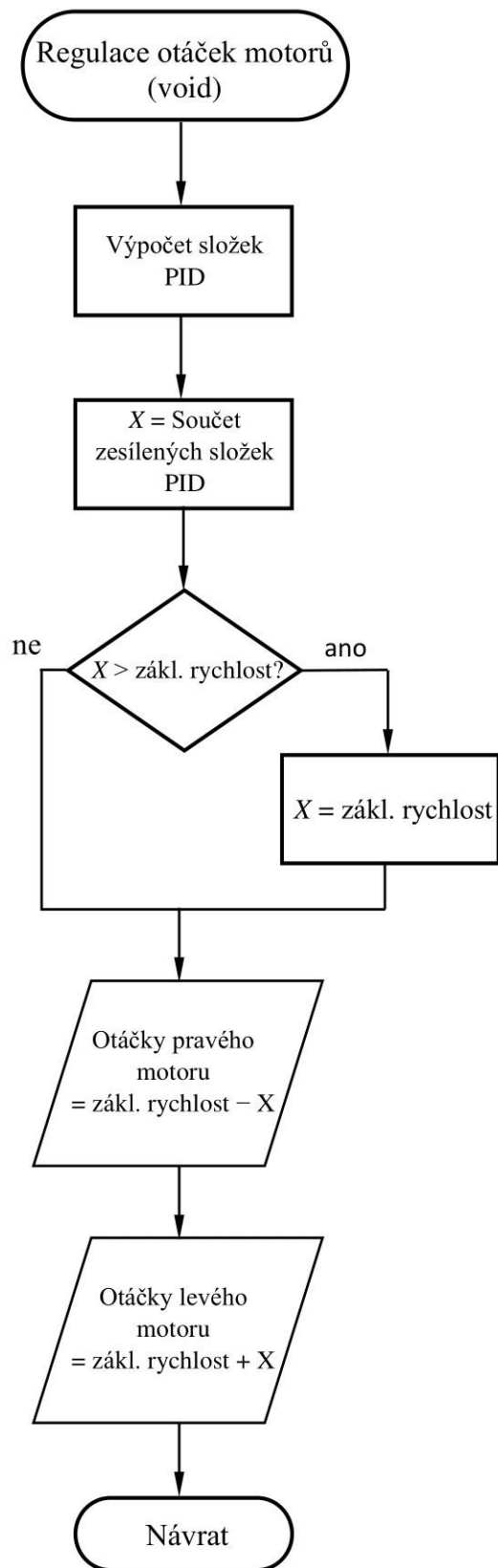
$$u(k) = K_P \cdot P(k) + K_I \cdot I(k) + K_D \cdot D(k), \quad (4.4)$$

kde K_P – zesílení proporcionální složky,

K_I – zesílení integrační složky,

K_D – zesílení derivační složky.

Hodnoty zesílení byly stanoveny experimentálně při testování prototypu. Nejvyšší přesnosti regulace bylo dosaženo při vynechání integrační složky, která příliš zpomalovala odezvu a destabilizovala systém. Zesílení proporcionální složky je nastaveno na hodnotu 2 a zesílení derivační složky na hodnotu 6. Přestože finální verze prototypu využívá pouze PD regulace, implementace integrační složky byla ponechána. Protože není vyloučena existence optimálního nastavení regulátoru zahrnující integrační složku. Vývojový diagram funkce regulace otáček motorů je na obr. 4.27 (Balátě, 2004).



Obr. 4.27 – Vývojový diagram funkce regulace otáček motorů

5 ZHODNOCENÍ

Realizované modulární testovací prostředí splňuje svůj účel. Bylo navrženo z lehkých materiálů, aby byl snazší jeho převoz. Nicméně pokud by měl být kladen důraz na jeho odolnost a životnost, bylo by lepší volit plastový materiál nebo alespoň sololit, do něhož by vodící linie byly vytvořeny kombinací vhodné povrchové úpravy a barvy.

Zhotovený prototyp umí pomalu najít cestu skrz neznámé bludiště a optimalizovat ji. Při vysokých rychlostech dochází k problémům s korektní detekcí vodící linie, což by se dalo vyřešit důslednou výkonovou optimalizací řídicího algoritmu nebo výměnou senzorů za přesnější a výkonnější typy. Výměna senzorů ani jiných komponent by neměla činit žádné konstrukční problémy.

6 ZÁVĚR

Bylo navrženo testovací prostředí ve formě modulárního bludiště, které bylo vyrobeno z ruční dřevité lepenky. Vodicí linie bludiště jsou tvořeny černou lepicí páskou. Na základě navrženého testovacího prostředí byl navržen 3D model mobilního robotu splňujícího podmínky micromouse soutěží. Jedná se o robot stavebnicové koncepce, což znamená, že je sestaven z komerčně vyráběných modulů. Podle návrhu byl zrealizován funkční prototyp. Základová konstrukce tohoto prototypu byla vyrobena na 3D tiskárně. Dále byl vytvořen řídicí algoritmus pro naučení neznámého čárového bludiště bez smyček jízdou skrz něj, zjednodušení naučené cesty a následného dosažení cíle v kratším čase. Pro sledování vodicí linie byla implementována forma PID regulace s diskretním krokem. K navrženému robotu byl vytvořen stručný montážní manuál a demonstrační úlohy zaměřené na řídicí algoritmus. V tab. 6.1 jsou uvedeny základní technické specifikace realizovaného robotu.

Tab. 6.1 – Technické specifikace realizovaného robotu

Šířka	124 mm
Délka	133 mm
Výška	90 mm
Hmotnost	437 g
Motory	2 × G12-N20, 6 V, 300 ot/min
Senzory	5 × Modul s IR reflektivním senzorem TCRT5000
Komunikační rozhraní	Bluetooth modul HC-06
Napájení	2 × Li-Ion akumulátor 18650, 2200 mAh
Programovací rozhraní	USB

Práce názorně demonstruje, jak snadné může být sestavení jednoduchého mobilního robotu pouze z komerčně vyráběných modulů. Nesmírnou výhodou tohoto řešení je možnost využití použitých modulů v jiných projektech a jednoduchá montáž. Proto by vytvoření podobného mobilního robotu mohlo být vhodným námětem pro semestrální práci pro skupinu studentů. Vytvořené demonstrační úlohy by mohly najít své praktické využití ve výuce buď přímo, nebo jako podklad pro úlohy podobného tématu.

POUŽITÁ LITERATURA

- 74HC14; 74HCT14: Hex inverting Schmitt-trigger*. 2003. [online]. Philips. [cit. 2022-04-25].
Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/112418/PHILIPS/74HCT14.html>
- Arduino Hardware*. 2020. [online]. Arduino. [cit. 2022-04-11]. Dostupné z:
<https://www.arduino.cc/en/hardware>
- Arduino Uno R3: Product Reference Manual*. 2022. [online]. Arduino. [cit. 2022-04-22].
Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
- BALÁTĚ, J. 2004. *Automatické řízení*. Praha: BEN – technická literatura. 664 s. ISBN 80-7300-148-9.
- Bluetooth modul HC-06*. [online]. Drátek. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z:
<https://navody.drateg.cz/navody-k-produktum/bluetooth-modul-hc-06.html>
- DE, T., HALL, D. 2004. *The Inception of Chedda: A detailed design and analysis of Micromouse*. [online]. Honors Thesis. Las Vegas, Nevada: University of Nevada, Senior Design. p. 73. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z:
https://www.physics.unlv.edu/~bill/ecg497/Drew_Tondra_report.pdf
- Debounce on a Pushbutton*. 2015. [online]. Arduino. [cit. 2022-04-11]. Dostupné z:
<https://docs.arduino.cc/built-in-examples/digital/Debounce>
- DOČEKAL, D. 2014. *Bluetooth vibrační vyzvánění*. [online]. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. 48 s. Vedoucí: A. Povalač. [cit. 2022-04-07] Dostupné z:
https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=87078
- DW01A*. [online]. HMSEMI. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z:
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1150541/HMSEMI/DW01A.html>
- Electric motor*. 2008. [online]. Wikimedia Commons, the free media repository. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z:
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Electric_motor.gif&oldid=611791569
- FS8205A*. 2014. [online]. FORTUNE. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z:
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132762/FORTUNE/FS8205A.html>
- G12-N20 Geared Mini DC Motor*. [online]. Handson Technology. [cit. 2022-04-25].
Dostupné z: https://www.handsontec.com/dataspecs/motor_fan/GA12-N20.pdf
- ICR18650-22P Datasheet: Lithium-ion Rechargeable Cell*. 2010. [online]. Samsung SDI. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/845518/Samsung/ICR18650-22P/1>

- IWASAKI, O. 2008. [online]. *Micromouse maze*. Wikimedia Commons, the free media repository. [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Micromouse_maze.jpg&oldid=646530858
- L298: *Dual Full-Bridge Driver*. 2000. [online]. ST. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22440/STMICROELECTRONICS/L298N.html>
- L298 *Dual H-Bridge Motor Driver*. [online]. Handson Technology. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://handsontec.com/dataspecs/module/L298N%20Motor%20Driver.pdf>
- Language Reference*. [online]. Arduino. [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/>
- MISRA, R., ADLER, R. 2018. Micromouse Competition Rules. [online]. In: *Region 2 IEEE Student Activities Conference 2018*. Pittsburgh, Pennsylvania, April 6 – 7. Pittsburgh: University of Pittsburgh. p. 2 – 3. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://ewh.ieee.org/sb/columbus/devry/sacFiles/MicromouseRules.pdf>
- Modul Dálkové Ovládání Infračervené*. 2016. [online]. ECLIPSE. [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://navody.drateg.cz/docs/texty/0/84/advsirida.pdf>
- MORGAN, E. 2014. [online]. *HC-SR04 Ultrasonic Sensor*. [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132203/ETC2/HC-SR04.html>
- Motors*. [online]. Micromouse Online. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://micromouseonline.com/micromouse-book/motors/>
- NOVÁK, P. 2005. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN – technická literatura. 248 s. ISBN 80-7300-141-1.
- PINĎÁK, L. 2019. *Měřič kapacity Li-Ion a NiMH Akumulátorů*. [online]. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. 58 s. Vedoucí: P. Huták. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=191887
- Pololu 3pi Robot*. [online]. Pololu. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/975>
- Pololu 3pi Robot User's Guide*. 2022. [online]. Pololu. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/docs/pdf/OJ21/3pi.pdf>
- Reflective Optical Sensor with Transistor Output*. 2022. [online]. Vishay. [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.vishay.com/docs/83760/tcrt5000.pdf>
- SIEGWART, R., NOURBAKSH, I. 2004. *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. 321 p. ISBN 0-262-19502-X.

- SKALICKÝ, J. 2001. *Elektrické servopohony*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. 85 s.
- STRATIL, R. 2014. *Příprava 3D modelu pro 3D tisk*. [online]. Bakalářská práce. Brno: Masarykova univerzita, Fakulta informatiky. 69 s. Vedoucí: J. Chmelík. [cit. 2022-04-26] Dostupné z: https://is.muni.cz/th/a53zr/BCP_For_Print_Final_Online2.pdf
- SVOBODA, A. [online]. *Vše o napájení Arduina*. Drátek. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/technikuv-blog/napajeni-arduina.html>
- The Autonomous Robot Kit*. [online]. PICAXE. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://picaxe.com/docs/kit110.pdf>
- UK Micromouse Classic Rules*. 2019. [online]. UKMARS. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://ukmars.org/contests/contest-rules/micromouse-classic/>
- VANNOY, R. 2009. [online]. *Teaching a Robot to Solve a Line Maze*. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/file/0J195/line-maze-algorithm.pdf>
- What are Brushless DC Motors*. [online]. Renesas. [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.renesas.com/us/en/support/engineer-school/brushless-dc-motor-01-overview>
- ZDAŘIL, T. 2009. *Přijímač dálkového ovládní*. [online]. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. 40 s. Vedoucí: Z. Kolka. [cit. 2022-04-06] Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/2479/final-thesis.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

PŘÍLOHY

A – CD

B – Montážní manuál

C – Laboratorní úlohy

Příloha k bakalářské práci

Mobilní robot micromouse

Kamil Špicar

CD

OBSAH

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF.
- 2 3D modely návrhu podvozku a kompletního robotu.
- 3 Úplné zdrojové kódy řídicích algoritmů robotu.
- 4 Montážní manuál realizovaného robotu.
- 5 Laboratorní úlohy k realizovanému robotu.

Příloha k bakalářské práci

Mobilní robot micromouse

Kamil Špicar

MONTÁŽNÍ MANUÁL

MAZUINOBOT

OBSAH

	Seznam zkratek a značek	B – 3
	Seznam ilustrací	B – 4
	Seznam tabulek	B – 5
	Úvod	B – 6
1	Seznam součástí	B – 7
2	Výroba základové konstrukce	B – 8
3	Doporučený montážní postup	B – 9
3.1	Schéma zapojení	B – 9
3.2	Příprava komponent	B – 10
3.3	Montáž	B – 11

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

3D	trojrozměrný
FDM	modelování depozicí taveniny
FFF	modelování z tavených vláken
IR	infračervený (senzor)
LED	dioda emitující světlo
Li-Ion	lithium-iontový (akumulátor)
PETG	polyethylentereftalát glykol (filament)
RGB	červená-zelená-modrá (dioda emitující světlo)
STL	stereolitografie (grafický formát)
USB	univerzální sériová sběrnice

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 2.1 – Pohledy na model základové konstrukce	B – 8
Obr. 3.1 – Schéma zapojení robotu Mazuinobot	B – 8
Obr. 3.2 – Připojení dodatečného vodiče k akumulátorovému boxu.....	B – 8
Obr. 3.3 – Modul IR senzoru po úpravě	B – 8
Obr. 3.4 – Montáž všesměrové kuličky	B – 8
Obr. 3.5 – Montáž napájecí jednotky	B – 8
Obr. 3.6 – Montáž kolébkového přepínače	B – 8
Obr. 3.7 – Montáž mini nepájivého pole	B – 8
Obr. 3.8 – Místo uchycení IR senzorů	B – 8
Obr. 3.9 – Způsob uchycení IR senzorů	B – 8
Obr. 3.10 – Místo uchycení řadiče motorů	B – 8
Obr. 3.11 – Orientace pravého motoru	B – 8
Obr. 3.12 – Místo upevnění Bluetooth modulu a RGB LED modulu	B – 8
Obr. 3.13 – Kompletně smontovaný robot	B – 8

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 – Seznam součástí	B – 7
----------------------------------	--------------

ÚVOD

Tento montážní manuál robotu Mazuinobot zahrnuje seznam všech potřebných komponent k jeho sestavení, parametry pro výrobu jeho základové konstrukce a doporučený montážní postup.

Mazuinobot je mobilní robot stavebnicové koncepce, splňující parametry soutěží micromouse, zaměřený na řešení čárových bludišť bez smyček. Základová konstrukce robotu je tvořena podvozkem z materiálu PETG vytisknutým na 3D tiskárně metodou FDM / FFF. Řídicí jednotkou je vývojová deska Arduino Uno. Pohon robotu je tvořen dvojicí stejnosměrných kartáčových motorů s ocelovými převody, které jsou řízeny přes řadič s obvodem L298N. Robot detekuje vodící linii pomocí pětice strategicky rozmístěných reflektivních IR senzorů. Ovládání je realizováno přes Bluetooth za pomoci modulu HC-06 a terminálové aplikace v mobilním telefonu. Robot je dále vybaven indikační RGB LED. Mazuinobot je napájen přes ochranný obvod z dvojice Li-Ion akumulátorů typu 18650.

1 SEZNAM SOUČÁSTEK

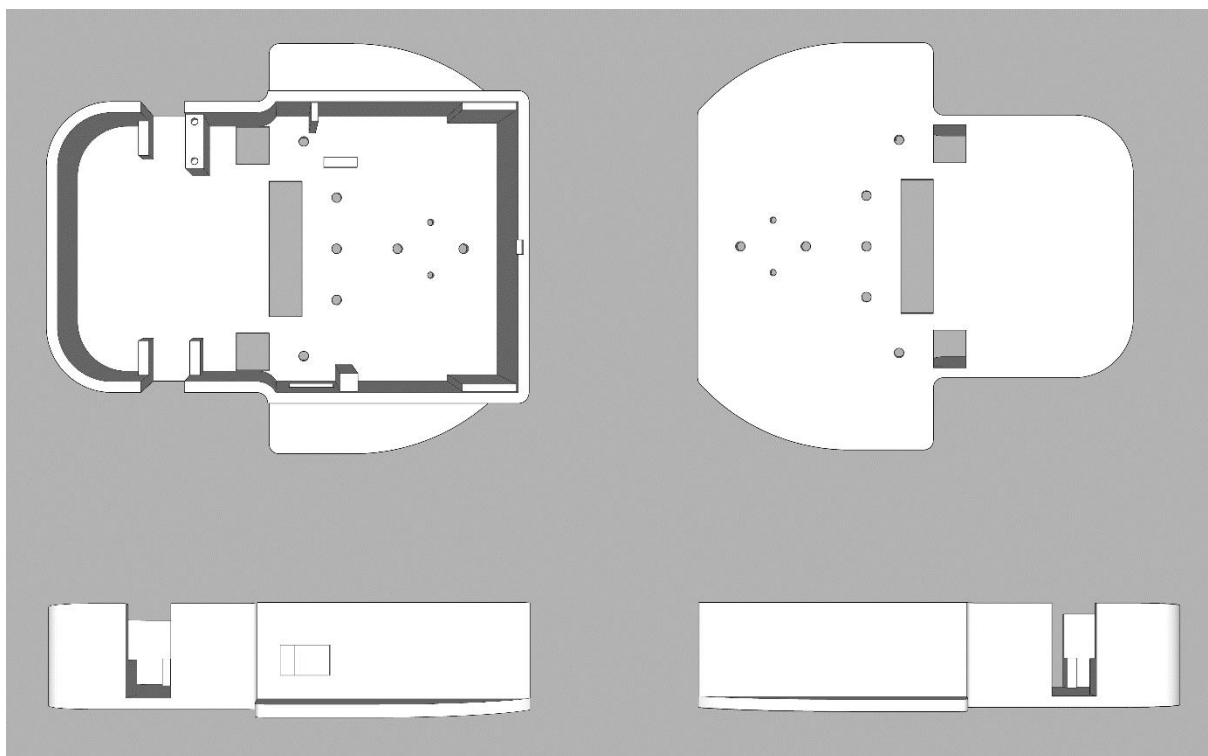
V tab. 1.1 jsou uvedeny veškeré součástky potřebné k montáži kompletního robota. Použitá varianta motorů G12-N20 není nutností a lze ji zaměnit za jinou. K lepení komponent se využívá oboustranné lepicí pásky, pěnové oboustranné lepicí pásky, elektrikářské izolační pásky a univerzálního hybridního tmelového lepidla Bernerfix.

Tab. 1.1 – Seznam součástek

Součástka	Parametry	Množství, ks
Akumulátorový box	2x 18650, kabelové vývody	1
Arduino Uno	Verze R3	1
Bluetooth modul	HC-06	1
IR senzor sledování čáry	senzor TCRT5000, 5 V, digitální výstup	5
Kartáčový motor	G12-N12, 6 V, 300 ot/min	2
Kolo gumové	43x19 mm, průměr hřídele: 3 mm	2
Li-Ion akumulátor	Samsung ICR18650-22P, 2200 mAh, 10 A	2
Matice	M3	17
Mini nepájivé pole	ZY-25	1
Ochrana Li-Ion akumulátorů	2S3A	1
Propojovací kabel	Dupont konektory, M-F, měděný, 10 cm	25
Propojovací kabel	Dupont konektory, M-F, měděný, 20 cm	4
Propojovací kabel	Dupont konektory, M-M, měděný, 20 cm	3
Propojovací kabel	Pocínované konce, měděný, 10 cm	4
Přepínač kolébkový	6 A, 250 V	1
RGB LED modul	KEYES KY-016	1
Řadič motorů	H-můstek L298N, dvoumotorový modul	1
Všesměrová kulička	3PI N20	1
Závitový šroub	M3, 10 mm	2
Závitový šroub	M3, 16 mm	5

2 VÝROBA ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

Základová konstrukce byla navržena tak, aby bylo možné ji vytisknout na 3D tiskárně. Model konstrukce ve formátu STL je plně připraven pro 3D tisk ať už na vlastní tiskárně, nebo formou zakázky. Doporučenou technologií tisku je FDM/FFF, protože je levná a pro tento účel naprosto dostačující. Doporučeným materiálem pro tisk je PETG, jelikož je odolný a pružný. Otvory pro šrouby mohou kvůli možnému nepatrnému smrštění při tisku vyžadovat rozšíření probroušením kulatým pilníkem. Na obr. 2.1 jsou pohledy na model základové konstrukce.

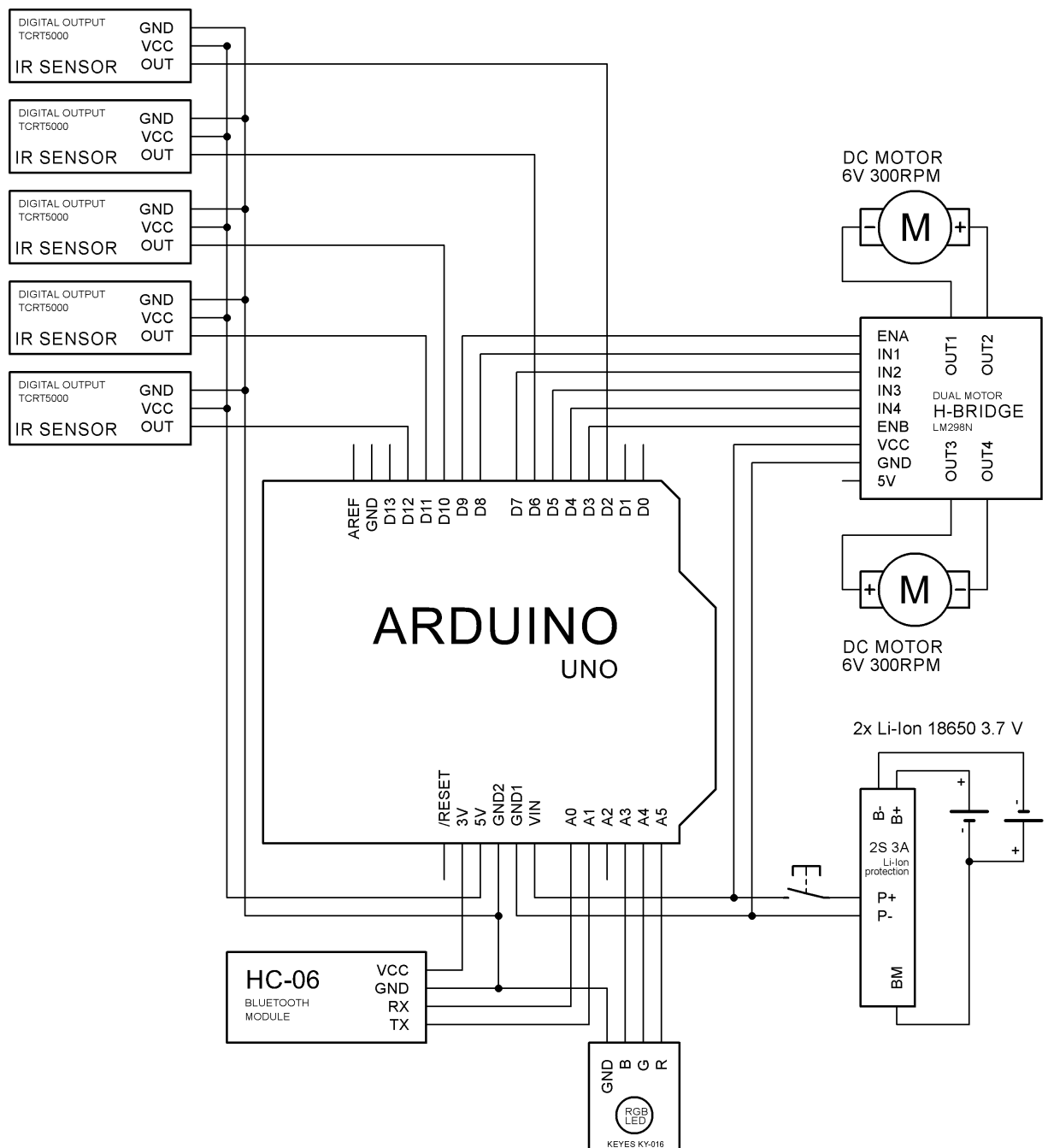


Obr. 2.1 – Pohledy na model základové konstrukce

3 DOPORUČENÝ MONTÁŽNÍ POSTUP

3.1 SCHÉMA ZAPOJENÍ

Na obr. 3.1 je schéma zapojení jednotlivých komponent. Pro rozvod napájení mezi periferiemi je nutné využít mini nepřívěšného pole.

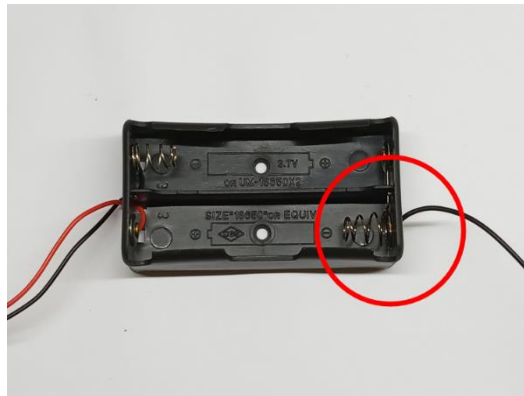


Obr. 3.1 – Schéma zapojení robotu Mazuinobot

3.2 PŘÍPRAVA KOMPONENT

Některé komponenty je vhodné upravit nebo smontovat ještě před finální montáží do základové konstrukce. Aby byl popis postupu finální montáže přehlednější, jsou tyto úpravy komponent shrnuty v této podkapitole.

První takovou komponentou je akumulátorový box. Obvod ochrany akumulátorů vyžaduje přivedení napětí z místa sériového propojení akumulátorů. Na obr. 3.2 je vyznačeno místo připojení dodatečného vodiče.



Obr. 3.2 – Připojení dodatečného vodiče k akumulátorovému boxu

Následujícím krokem je připájení výstupních vodičů akumulátorového boxu k ochrannému obvodu dle schématu na obr. 3.1. Také je třeba připájet vodiče na výstup ochranného obvodu, kde mínusový vodič by měl mít dupont konektor.

Další úprava se týká motorů. K radiči se motory připájí přes svorkovnice, proto je třeba k vývodům motorů připájet prodlužovací vodiče. Tyto vodiče by po připájení měly být alespoň 1 cm dlouhé, ale je lepší je udělat delší a při finální montáži je dle potřeby zkrátit.

Poslední úpravou je ohnutí vývodových nožiček modulů IR senzorů, aby bylo možné je snadno propojit s vývojovou deskou. Tato úprava se musí provádět opatrně, aby nedošlo k poškození modulů. Na obr. 3.3 je znázorněn modul po úpravě.

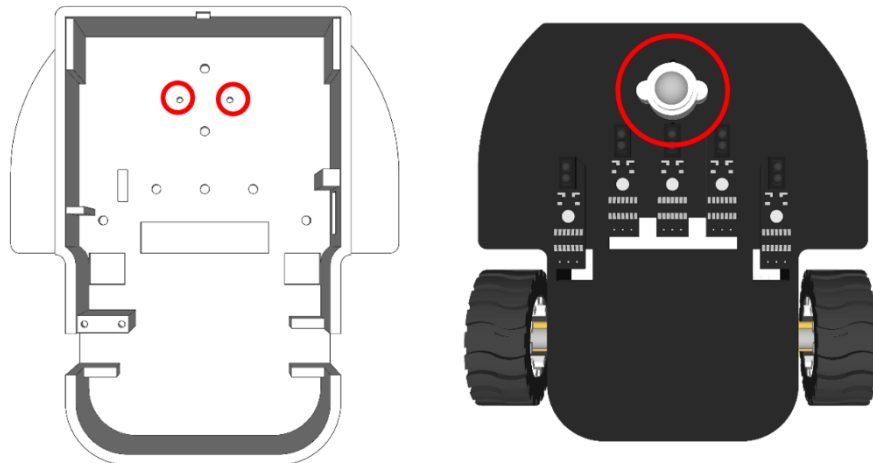


Obr. 3.3 – Modul IR senzoru po úpravě

3.3 MONTÁŽ

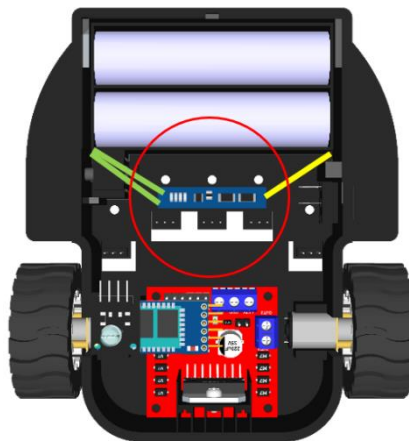
Při montáži je vhodné mít základovou konstrukci podloženu tak, aby byla alespoň 2 cm nad podložkou. Tím se montáž značně usnadní, jakmile budou přimontovány komponenty na spodek základové konstrukce.

Prvním krokem je přimontování všesměrové kuličky. Obr. 3.4 názorně ukazuje místo, kam má být kulička přišroubována. V plastovém těle kuličky jsou již od výrobce připraveny vruty, kterými se přimontuje k základové konstrukci.



Obr. 3.4 – Montáž všesměrové kuličky

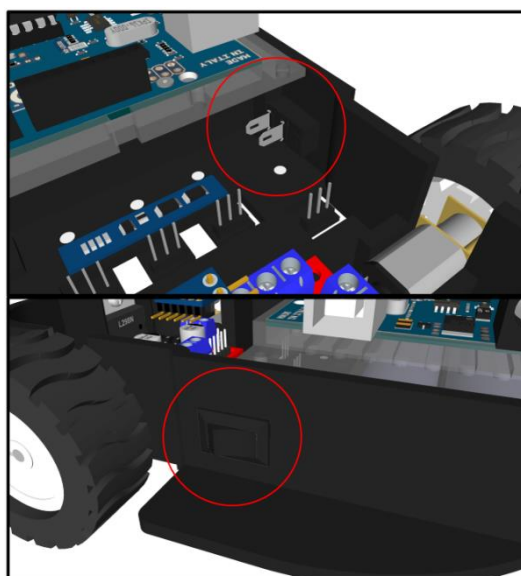
V druhém kroku je montována napájecí jednotka. Na obr. 3.5 je znázorněna pozice ochranného obvodu a boxu. Přestože na ilustrativním obrázku jsou již v boxu akumulátory, v tomto kroku tam ještě být nesmí. Box je orientovaný stranou s jedním výstupním vodičem vpravo a přimontován šrouby M3 délky 10 mm. Ochranný obvod je přilepen pěnovou oboustrannou lepicí páskou stranou s připájenými vodiči dolů. Tento krok vyžaduje zvýšenou



Obr. 3.5 – Montáž napájecí jednotky

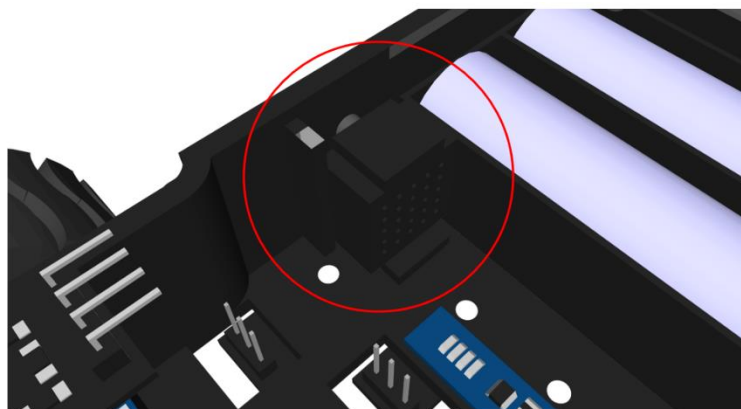
opatrnost, aby nedošlo k odlomení nebo vykroucení připájených vodičů. Poškozené spoje vodičů s ochranným obvodem by mohly vést ke zničení akumulátorů a připojených komponent. Dvojice vodičů, znázorněných na obr. 3.5 zeleně, musí být vlevo. Všechny odhalené části vodičů by měly být izolovány elektrickářskou izolační páskou.

Ve třetím kroku jde o přidání kolébkového přepínače. Ten stačí pouze nacvaknout do otvoru pro něj určeného. Pokud se otvor vlivem smrštění při tisku zmenšil, lze ho mírně rozšířit pilníkem. Místo jeho uchycení je zobrazeno na obr. 3.6. K vývodu, který je na obr. 3.6 po levé straně, se připájí kladný výstupní vodič ochranného obvodu. K pravému vývodu se připájí 20cm propojovací vodič s dupont konektorem typu M na jeho konci a také jeden vodič délky 8 cm.



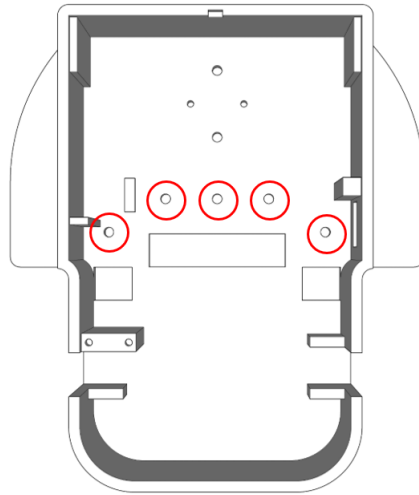
Obr. 3.6 – Montáž kolébkového přepínače

Čtvrtým krokem je přilepení mini nepájivého pole oboustrannou lepicí páskou. Místo, kam se má přilepit je znázorněno na obr. 3.7.

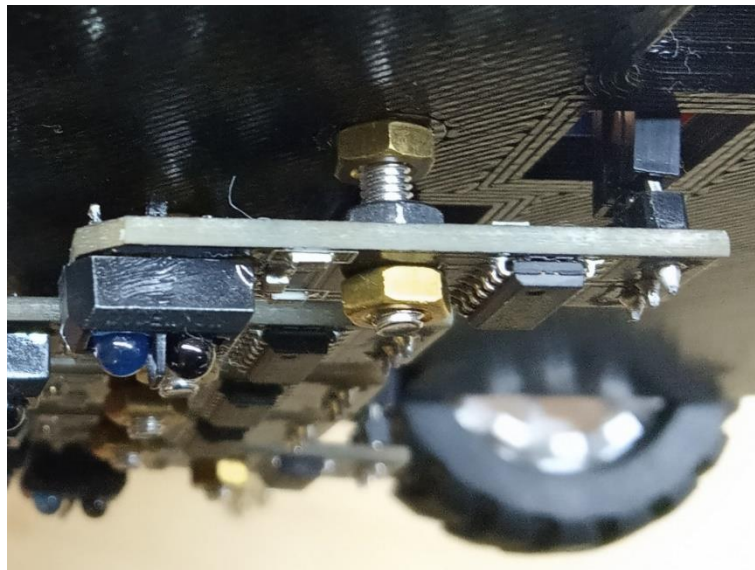


Obr. 3.7 – Montáž mini nepájivého pole

V pátém kroku se přimontují moduly IR senzorů. Sensory jsou uchyceny zespodu základové konstrukce 16mm závitovými šrouby a maticemi. Místo uchycení senzorů je vidět na obr. 3.8 a způsob jejich uchycení je znázorněn na obr. 3.9. Výška, ve které senzory jsou, se koriguje při testování tak, aby senzory korektně detekovaly světlé a tmavé plochy.

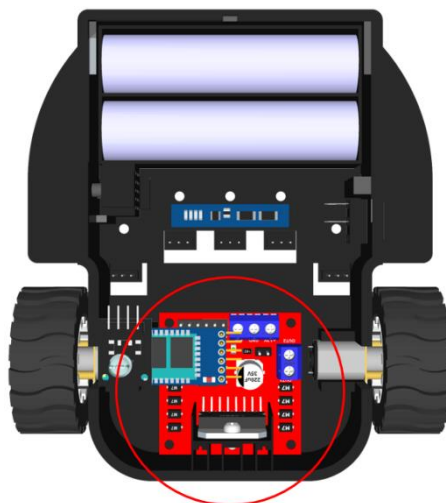


Obr. 3.8 – Místo uchycení IR senzorů



Obr. 3.9 – Způsob uchycení IR senzorů

V rámci šestého kroku se montuje pohonný systém robotu. Řadič je přilepen pěnovou oboustrannou lepicí páskou v zadní části podvozku a je orientován signálovými vstupy směrem k akumulátorovému boxu, jak je názorně vidět na obr. 3.10.



Obr. 3.10 – Místo uchycení řadiče motorů

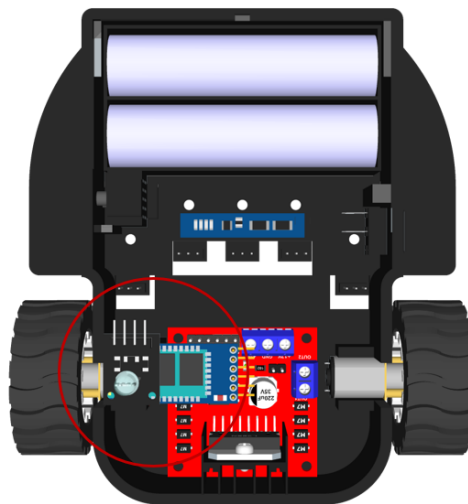
Následně se zapojí motory na výstupy řadiče. Pravý motor by měl být orientován tak, jak je vyznačeno na obr. 3.11, a levý motorů opačnou stranou vzhůru. Pokud budou motory připojeny jinak, bude nutné upravit funkce pro řízení motorů v řídicí aplikaci. Po úspěšném zapojení motorů je nutné motory přilepit tmelovým lepidlem Bernerfix. Lepidlo bude schnout několik hodin. Po úspěšném upevnění motorů je vhodné izolovat obnažené vodiče elektrickářskou izolační páskou. Nakonec se kratší z dvojice vodičů připájených ke kolébkovému přepínači připojí na pin napájecí svorkovnice řadiče značený +12V.



Obr. 3.11 – Orientace pravého motoru

Sedmým krokem je příprava rozvodu napájení do řídicí jednotky a mezi periferie na mini nepájivém poli. Při tomto kroku stačí postupovat dle schématu zapojení na obr. 3.1. Zapojení se realizuje propojovacími vodiči s dupont konektory a orientace konektorů se volí dle připojovaného komponentu. Již přimontované komponenty je možné zapojit rovnou a pro doposud nepřimontované komponenty, tedy Bluetooth modul, RGB LED a Arduino Uno, vodiče připravit.

V osmém kroku se k připraveným vodičům připojí Bluetooth modul a RGB LED modul. Poté se Bluetooth modul přilepí k vyvýšené podpoře, jejíž pozice je barevně vyznačena na obr. 3.12. Přimo na Bluetooth modul se pěnovou oboustrannou lepicí páskou přilepí RGB LED modul. Pozice RGB LED modulu je rovněž vidět na obr. 3.12.

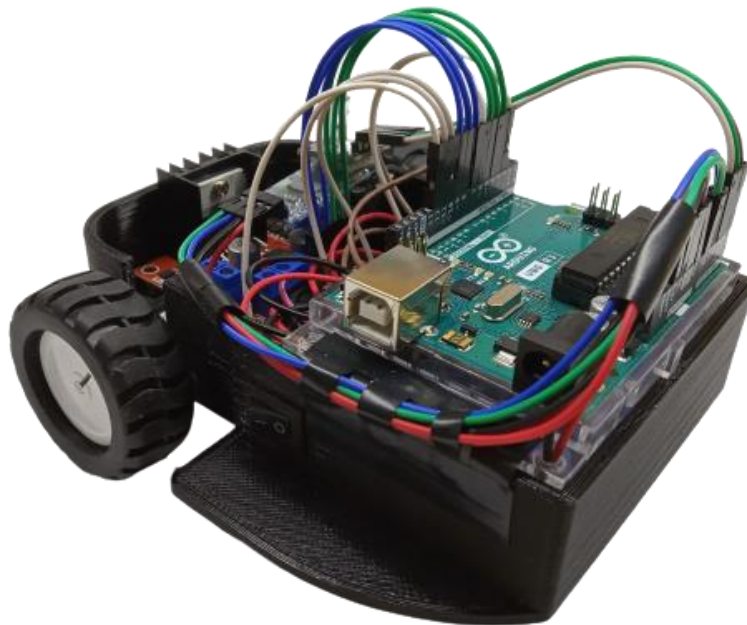


Obr. 3.12 – Místo upevnění Bluetooth modulu a RGB LED modulu

V devátém kroku se do akumulátorového boxu vloží akumulátory. Akumulátory musí být orientované podle značení na dně boxu. Kolébkový přepínač nesmí být sepnutý, jinak by mohlo dojít k poškození připojených periferií.

Desátým krokem je zapojení vývojové desky Arduino Uno do obvodu. Při zapojování se opět vychází ze schématu na obr. 3.1. Arduino Uno se umístí nad akumulátorový box tak, aby byl USB konektor na stejné straně jako kolébkový přepínač. Vývojová deska nevyžaduje žádné sekundární uchycení kromě předpřipravených zářezů ve stěnách základové konstrukce, ale lze ji dodatečně přilepit elektrickářskou izolační lepicí páskou.

Nakonec je vhodné všechny kabely zorganizovat, aby nikam nevyčnívaly nebo nezasahovaly. K tomu lze využít elektrikářské izolační pásky. Na obr. 3.13 je fotografie kompletně smontovaného robotu.



Obr. 3.13 – Kompletně smontovaný Mazuinobot

Příloha k bakalářské práci

Mobilní robot micromouse

Kamil Špicar

LABORATORNÍ ÚLOHY

MAZUINOBOT

OBSAH

	Seznam zkratk a značek	C – 3
	Seznam ilustrací	C – 4
	Úvod	C – 6
1	Regulace jízdy po čáře	C – 7
1.1	Zadání první úlohy	C – 8
1.2	Řešení první úlohy	C – 9
2	Identifikace rozhodovacích bodů bludiště	C – 9
2.1	Zadání druhé úlohy	C – 10
2.2	Řešení druhé úlohy	C – 11

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

IDE	integrované vývojové prostředí
PID	proporcionálně integračně derivační (regulátor)

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Grafické znázornění detekce vodící linie senzory	C – 8
Obr. 1.2 – První část vývojového diagramu algoritmu detekce odchyly	C – 8
Obr. 1.3 – Druhá část vývojového diagramu algoritmu detekce odchyly	C – 8
Obr. 1.4 – Algoritmus detekce odchyly od vodící linie	C – 8
Obr. 1.5 – Vývojový diagram algoritmu PID regulace jízdy po čáře	C – 8
Obr. 1.6 – Algoritmus PID regulace jízdy po čáře	C – 8
Obr. 2.1 – Ukázka možných detekovatelných bloků bludiště	C – 8
Obr. 2.2 – První část vývojového diagramu algoritmu detekce rozhodovacích bodů	C – 8
Obr. 2.3 – Druhá část vývojového diagramu algoritmu detekce rozhodovacích bodů	C – 8
Obr. 2.4 – Třetí část vývojového diagramu algoritmu detekce rozhodovacích bodů	C – 8
Obr. 2.5 – Čtvrtá část vývojového diagramu algoritmu detekce rozhodovacích bodů	C – 8
Obr. 2.6 – Algoritmus detekce zataček	C – 8
Obr. 2.7 – Algoritmus detekce slepé uličky a cílového bloku	C – 8
Obr. 2.8 – Algoritmus detekce stykových křižovatek	C – 8
Obr. 2.9 – Algoritmus detekce průsečné křižovatky a křižovatky T	C – 8

ÚVOD

Tento soubor laboratorních úloh je obecně zaměřen na navrhování a vytváření řídicích algoritmů pro mobilního robot pohybuujícího se v neznámém prostředí na základě dat o tomto prostředí získaných jeho senzorickým systémem. Neznámým prostředím je v těchto úlohách čárové bludiště a mobilním robotem může být Mazuinobot nebo jiný podobný robot.

Mazuinobot je mobilní robot stavebnicové koncepce, splňující parametry soutěží micromouse, zaměřený na řešení čárových bludišť bez smyček. Řídicí jednotkou je vývojová deska Arduino Uno. Pohon robotu je tvořen dvojicí stejnosměrných kartáčových motorů s ocelovými převody, které jsou řízeny přes řadič s obvodem L298N. Robot detekuje vodící linii pomocí pětice strategicky rozmístěných reflektivních IR senzorů. Ovládání je realizováno přes Bluetooth za pomoci modulu HC-06 a terminálové aplikace v mobilním telefonu. Robot je dále vybaven indikační RGB LED. Mazuinobot je napájen přes ochranný obvod z dvojice Li-Ion akumulátorů typu 18650.

V první laboratorní úloze je cílem navržení algoritmu pro regulaci jízdy po čáře. Druhá laboratorní úloha navazuje na první a jejím cílem je navržení algoritmu pro identifikaci pravoúhlých zatáček, křižovatek, slepých uliček a cílového bloku.

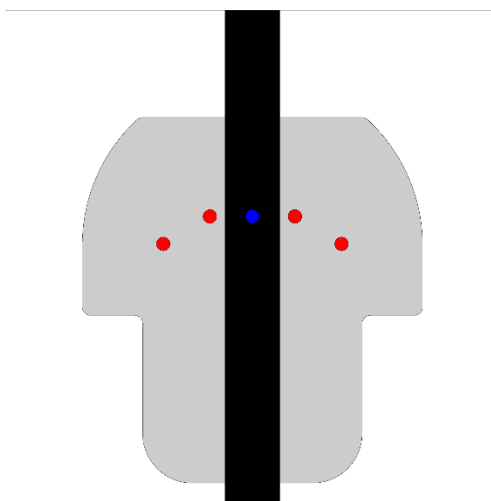
1 REGULACE JÍZDY PO ČÁŘE

1.1 ZADÁNÍ PRVNÍ ÚLOHY

Cílem této úlohy je navržení algoritmu regulace jízdy po čáře pro robot Mazuinobot tak, aby byl schopen sledovat vlnitou vodící linii. Algoritmus musí být realizován ve vývojovém prostředí Arduino IDE a jeho testování v předpřipraveném testovacím prostředí ve formě černé vlnité vodící linie na světlém podkladu. Pro účely testování je k dispozici podkladový zdrojový kód v souboru s názvem „mazuinobot_lab_podklad.ino“.

Je zřejmé, že před samotným navrhováním je nutné zmíněný zdrojový kód důkladně prostudovat. Kód obsahuje funkce pro Bluetooth komunikaci, čtení senzorů a ovládání motorů. Jelikož v této úloze jde pouze o regulaci jízdy po vlnité linii, z funkcí pro ovládání motorů se využijí pouze funkce `motorsForward()` a `motorsOff()`.

Mazuinobot má k detekci vodící linie k dispozici pět infračervených reflektivních senzorů. Tyto senzory fungují na principu vyslání a následné detekce infračerveného paprsku. Podle intenzity detekovaného paprsku je na jejich výstupu logická 1 nebo logická 0. Logická 1 je na výstupu v případě detekce světlého reflektivního povrchu a logická 0 v případě detekce tmavého absorbujícího povrchu. Ačkoliv senzorů je celkem pět, pro regulaci vystačí tři prostřední. Podle výstupů infračervených senzorů je možné zjistit polohu robotu vůči vodící linii. Na obr. 1.1 je znázorněn příklad, kdy je robot přesně na vodící linii a pouze prostřední senzor hlásí detekci tmavého povrchu (Novák, 2005).



Obr. 1.1 – Grafické znázornění detekce vodící linie senzory

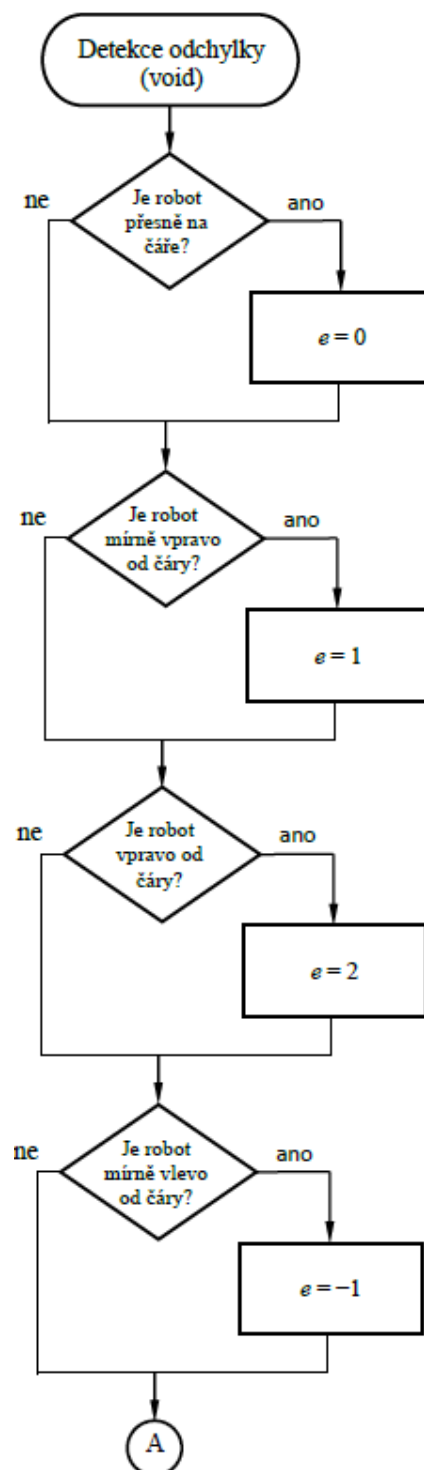
Čtení stavu senzorů zajišťuje funkce `sensorRead()`. Tato funkce přečte výstupní signály senzorů a uloží jejich hodnoty do pole celočíselných hodnot. Uložené hodnoty odpovídají logickým stavům 0 a 1. Pole je následně interpretováno jako binární číslo a převedeno do desítkové soustavy, aby byla s daty ze senzorů snazší manipulace. Při čelním pohledu na robot odpovídá senzor umístěný nejvíce vpravo nejméně významnému bitu. Stav senzorů 11011, kdy je robot přesně na vodící linii pak odpovídá číslu 27.

Vhodným prvním krokem při vytváření algoritmu pro regulaci jízdy po vodící linii je definování všech sledovaných stavů senzorů a následné určení žádaného stavu. Od žádaného stavu se poté definují stavy odchylek, kterým bude na základě míry vychýlení přiřazena hodnota. Tím je vytvořen pevný základ pro zpětnovazební regulaci.

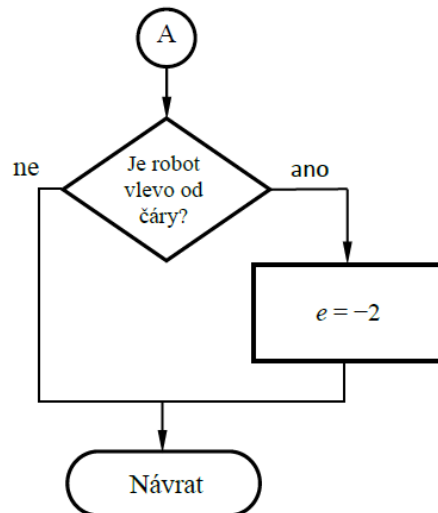
Akčním členem této zpětnovazební smyčky jsou motory robotu. Změny směru jízdy lze dosáhnout rozdílnou rychlostí otáčení motorů. Při testování nesmí být překročen stanovený rychlostní limit, protože jinak by se robot při chybně navržené regulaci mohl vymknout kontrole a poškodit sebe i své okolí. Hodnoty základové rychlosti a rychlostního limitu jsou uvedeny v podkladovém zdrojovém kódu.

1.2 ŘEŠENÍ PRVNÍ ÚLOHY

Vhodným způsobem zpětnovazební regulace jízdy po vodící linii je PID regulace. Na obr. 1.2 a 1.3 je vývojový diagram algoritmu detekce odchylky od vodící linie a na obr. 1.4 je okomentovaný kód tohoto algoritmu. Na obr. 1.5 je vývojový diagram algoritmu PID regulace jízdy po čáře a na obr. 1.6 okomentovaný kód.



Obr. 1.2 – První část vývojového diagramu algoritmu detekce odchylky



Obr. 1.3 – Druhá část vývojového diagramu algoritmu detekce odchylky

```

/*****
***** DEKÓDOVÁNÍ STAVU SENZORŮ PŘI MÓDU LINEFOLLOW *****/
*****/

void sensorDecodeLinefollow(){ //0 == černá; 1 == bílá

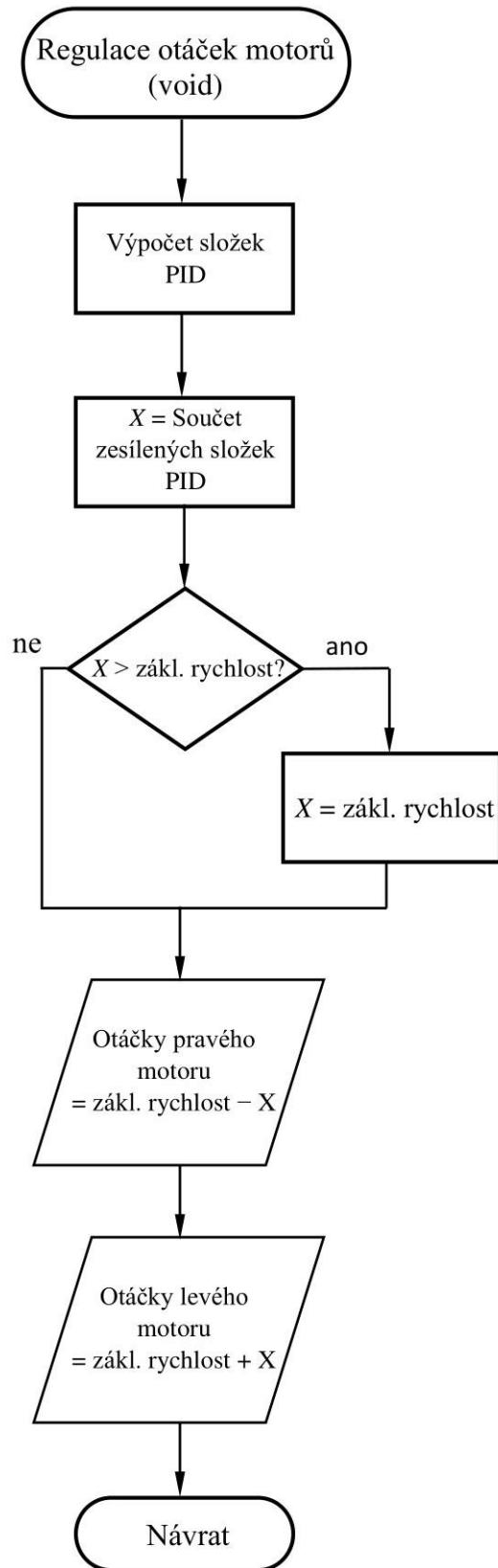
//Na čáře
if (sensorStateValue == 27){
//11011
error = 0;
return;
}

//Vlevo od čáry
if (sensorStateValue == 19){
//11001
error = -1;
return;
}
if (sensorStateValue == 23){
//11101
error = -2;
return;
}

//Vpravo od čáry
if (sensorStateValue == 25){
//10011
error = 1;
return;
}
if (sensorStateValue == 29){
//10111
error = 2;
return;
}
}
}

```

Obr. 1.4 – Algoritmus detekce odchylky od vodící linie



Obr. 1.5 – Vývojový diagram algoritmu PID regulace jízdy po čáře

```

/*****
*****  REGULACE OTÁČEK MOTORŮ PRO JÍZDU PO ČÁŘE  *****/
/*****

void speedRegulation(){ //Funkce pro regulaci rychlosti otáčení motorů
  P = error;           //Výpočet jednotlivých složek PID na základě odchylky
  I = I + error;
  D = error - prevError;
  motorSpeed = (int)(Kp*P + Ki*I + Kd*D); //Výpočet velikosti změny rychlosti
  if (motorSpeed > baseSpeedA){ //Eliminace zakázaných hodnot
    motorSpeed = baseSpeedA;
  }
  if (motorSpeed > baseSpeedB){ //Eliminace zakázaných hodnot
    motorSpeed = baseSpeedB;
  }
  motorSpeedA = baseSpeedA + motorSpeed; //Úprava rychlosti motorů
  motorSpeedB = baseSpeedB - motorSpeed;
  motorsForward();
  analogWrite(enA, motorSpeedA); //Generování PWM signálu
  analogWrite(enB, motorSpeedB); //na základě nově vypočtené rychlosti otáčení
}

```

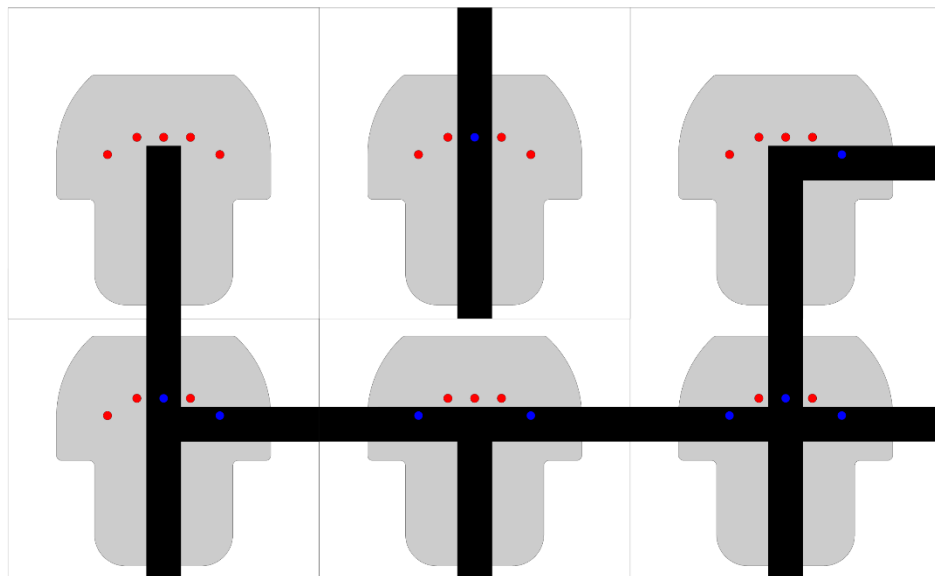
Obr. 1.6 – Algoritmus PID regulace jízdy po čáře

2 IDENTIFIKACE ROZHODOVACÍCH BODŮ BLUDIŠTĚ

2.1 ZADÁNÍ DRUHÉ ÚLOHY

Cílem této úlohy je navržení algoritmu identifikace rozhodovacích bodů bludiště pro robot Mazuinobot tak, aby byl schopen identifikovat libovolný rozhodovací bod a následně se vydat předdefinovaným směrem. Algoritmus musí být realizován ve vývojovém prostředí Arduino IDE a jeho testování v předpřipraveném testovacím prostředí ve formě čárového bludiště tvořeného černými liniemi na světlém podkladu. Pro účely testování je vhodné využít zdrojového kódu realizovaného v rámci předchozí úlohy s názvem „Regulace jízdy po čáře“.

Bludiště je tvořeno ze čtvercových bloků a na každém z nich je jedna z předdefinovaných liniových kombinací tvořících např. zatáčku, slepou uličku nebo křižovatku. Na obr. 2.1 jsou znázorněny základní typy bloků se stavy senzorů při jejich detekci, kromě cílového bloku. Cílový blok je tvořen jedním černým obdélníkem pokrývajícím téměř celý blok. V bludišti se všechny tyto bloky samozřejmě mohou vyskytovat různě natočeny.



Obr. 2.1 – Ukázka možných detekovatelných bloků bludiště

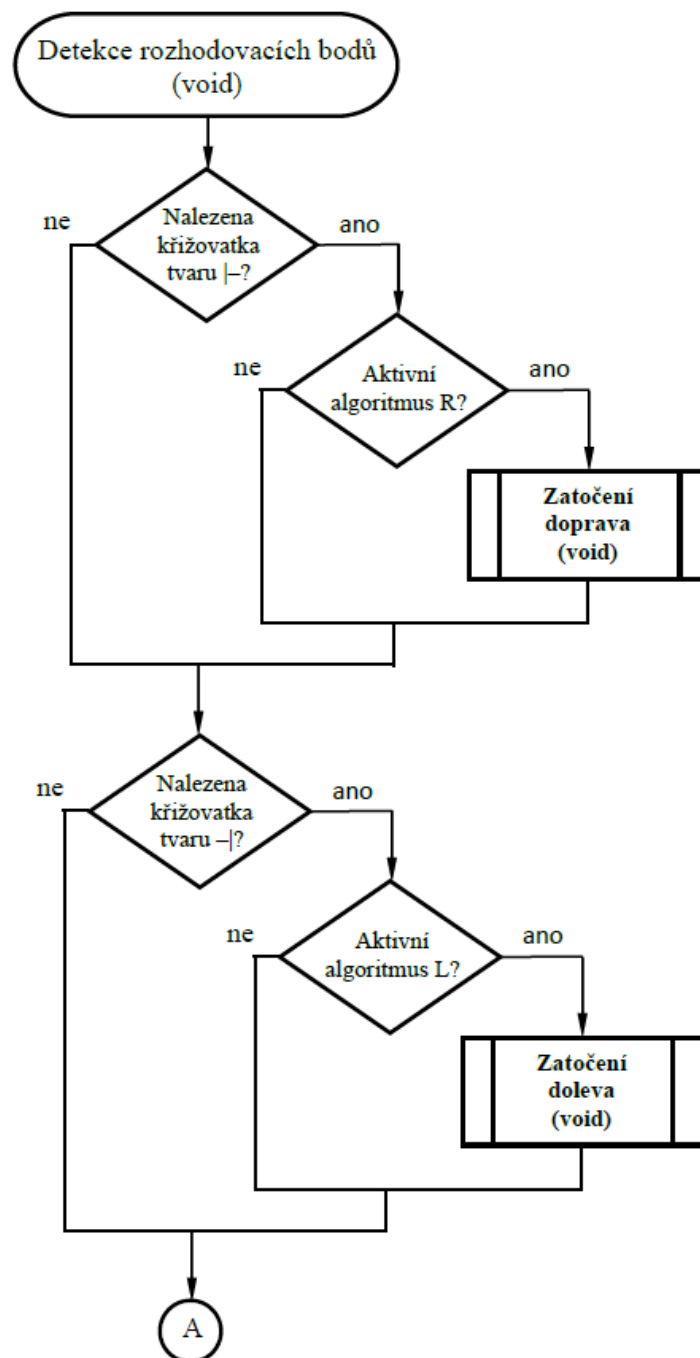
Bloky vyžadující volbu směru se nazývají rozhodovací body. Korektní projetí těchto bloků vyžaduje složitější obsluhu motorů, protože zatočení o 90° není s realizovaným algoritmem regulace jízdy po čáře možné. Mezi rozhodovací body jsou v rámci této úlohy pro přehlednost zahrnuty také zatáčky a slepé uličky, protože vyžadují stejnou obsluhu motorů.

Při vytváření algoritmu lze postupovat stejným způsobem jako v první úloze. Nejprve se tedy definují všechny detekovatelné varianty. Pro rozhodování, kterým směrem se má robot na křižovatkách vydat, je vhodné využít algoritmu vždy-vpravo nebo vždy-vlevo. Jak jeho název napovídá, při algoritmu vždy-vpravo robot vždy volí směr, který je v jeho perspektivě nejvíce vpravo a nikdy nevolí směr vlevo. To znamená, že může jet vpravo nebo rovně, ale nikdy vlevo. Algoritmus vždy-vlevo funguje analogicky. Na zvoleném algoritmu nezáleží.

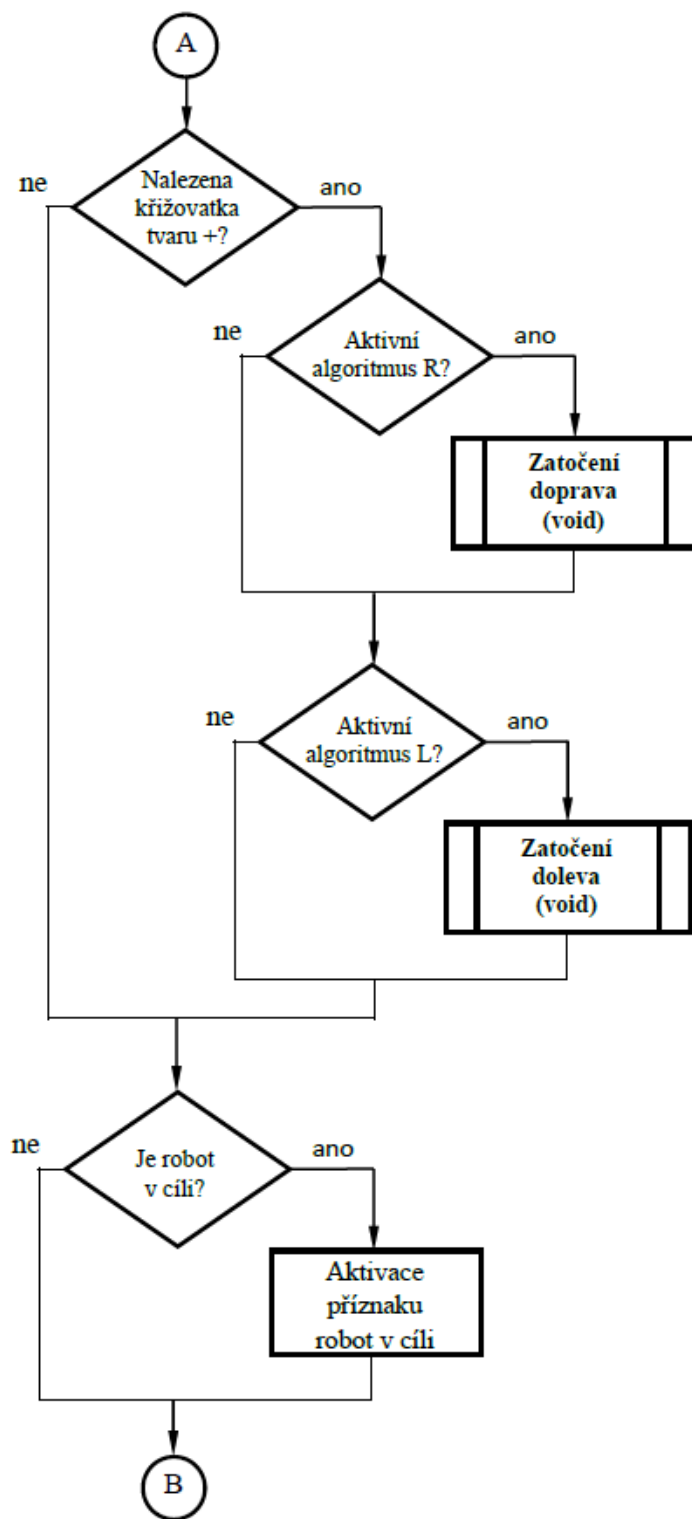
Pro obsluhu motorů při zatačení na rozhodovacích bodech jsou v podkladovém zdrojovém kódu z první úlohy implementovány funkce `turnRight()`, `turnLeft()` a `turnAround()`.

2.2 ŘEŠENÍ DRUHÉ ÚLOHY

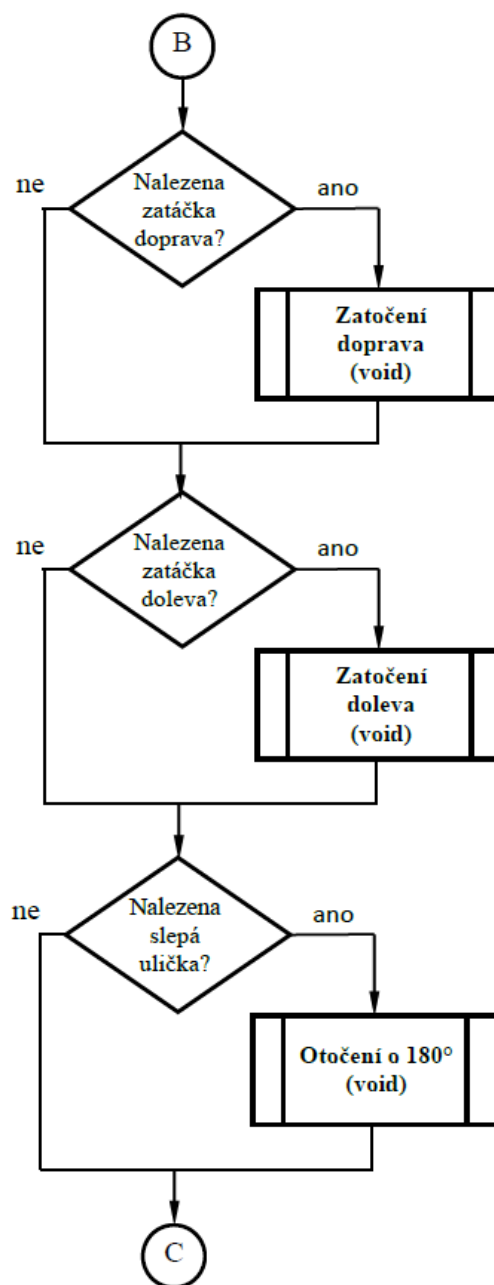
Řešení této úlohy je již výrazně složitější, protože je nutné filtrovat falešné detekce způsobené rušením prostředí a elektromagnetickým rušením generovaným motory. Na obr. 2.2, 2.3, 2.4 a 2.5 je po částech zobrazen vývojový diagram algoritmu detekce rozhodovacích bodů, která je řešením této úlohy. Tento vývojový diagram zachycuje základní princip algoritmu. Na obr. 2.6, 2.7, 2.8 a 2.9 jsou uvedeny části kódu pro detekci jednotlivých rozhodovacích bodů. Všechny tyto kódy jsou doplněním funkce pro detekci odchylky z předchozí úlohy.



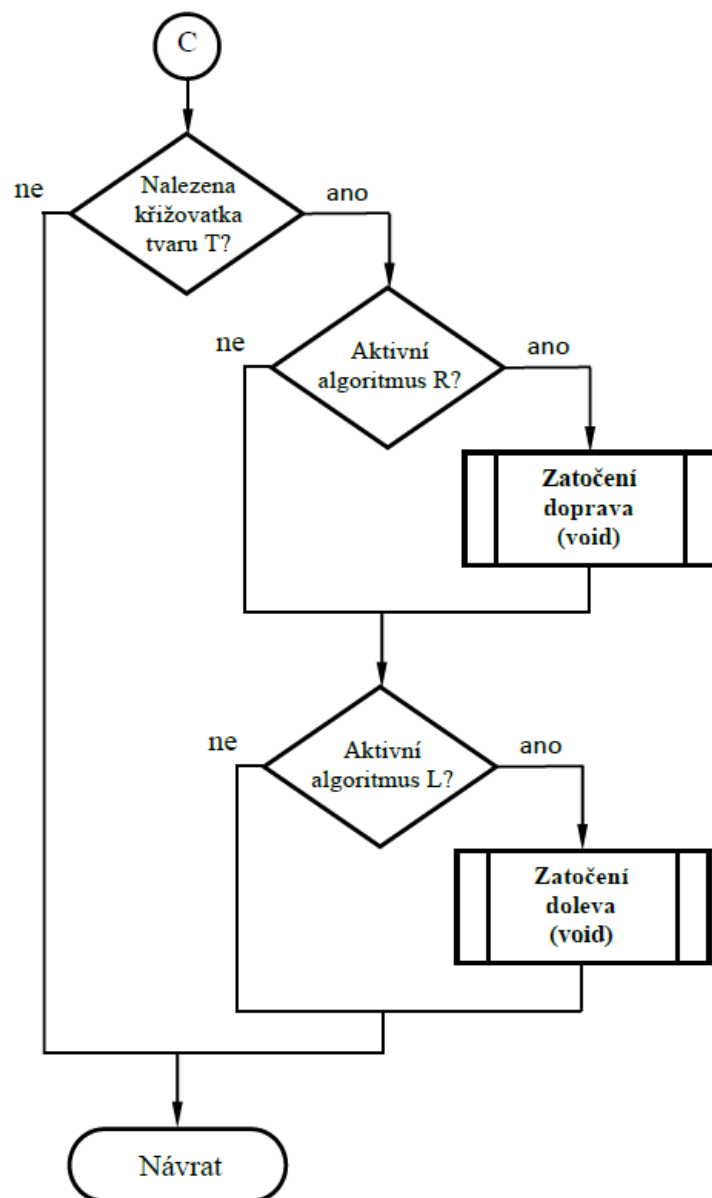
Obr. 2.2 – První část vývojového diagramu algoritmu detekce rozhodovacích bodů



Obr. 2.3 – Druhá část vývojového diagramu algoritmu detekce rozhodovacích bodů



Obr. 2.4 – Třetí část vývojového diagramu algoritmu detekce rozhodovacích bodů



Obr. 2.5 – Čtvrtá část vývojového diagramu algoritmu detekce rozhodovacích bodů

```

//Zatáčka vpravo
if (sensorStateValue == 15){
  if (turnRightCheck == 0){
    //11110, 00001, 10001, 10011, 10111, 11001, 11101, 11011
    finishCheck = 0;
    intersectionVisited = 0;
    deadendCheck = 0;
    turnLeftCheck = 0;
    turnRightCheck = 1;
    return;
  }
  if (turnRightCheck >= 1){
    turnRightCheck++;
    if (turnRightCheck == 3){
      turnRight();
      motorsForward();
      turnRightCheck = 0;
    }
    return;
  }
}
//Zatáčka vlevo
if (sensorStateValue == 30){
  if (turnLeftCheck == 0){
    //11110, 00001, 10001, 10011, 10111, 11001, 11101, 11011
    finishCheck = 0;
    intersectionVisited = 0;
    deadendCheck = 0;
    turnLeftCheck = 1;
    turnRightCheck = 0;
    return;
  }
  if (turnLeftCheck >= 1){
    turnLeftCheck++;
    if (turnLeftCheck == 3){
      turnLeft();
      motorsForward();
      turnLeftCheck = 0;
    }
    return;
  }
}
}

```

Obr. 2.6 – Algoritmus detekce zatáček

```

//Slepá ulička
if (sensorStateValue == 31){
  if (prevSensorStateValue == 27 || prevSensorStateValue == 25 || prevSensorStateValue == 19
  || prevSensorStateValue == 29 || prevSensorStateValue == 23){
    //00100, 01100, 00110, 01000, 00010
    finishCheck = 0;
    turnLeftCheck = 0;
    turnRightCheck = 0;
    deadendCheck = 1;
    return;
  }
  if (deadendCheck >= 1){
    deadendCheck++;
    if (deadendCheck == deadendCheckIterations){
      intersectionVisited = 1;
      turnAround();
      motorsForward();
      deadendCheck = 0;
    }
  }
  return;
}

//Cíl
if (sensorStateValue == 0){
  //00011 OR 11000 OR 10001 OR 00000
  deadendCheck = 0;
  turnLeftCheck = 0;
  turnRightCheck = 0;
  finishCheck++;
  if (finishCheck == finishCheckIterations){
    finish = 1;
  }
  return;
}

```

Obr. 2.7 – Algoritmus detekce slepé uličky a cílového bloku

```

// |- Křižovatka
if (sensorStateValue == 11 || sensorStateValue == 3 || sensorStateValue == 9
|| sensorStateValue == 13 || sensorStateValue == 7){
    //11010, 11000, 10010, 10110, 11100
    finishCheck = 0;
    deadendCheck = 0;
    turnLeftCheck = 0;
    turnRightCheck = 0;
    if ((algorithm == 'R') && (intersectionVisited != 1)){
        intersectionVisited = 1;
        turnRight();
        motorsForward();
        return;
    }
    else if ((algorithm == 'L') && (intersectionVisited != 1)){
        intersectionVisited = 1;
        straightCheck = 1;
        return;
    }
    return;
}

// -| Křižovatka
if (sensorStateValue == 26 || sensorStateValue == 24 || sensorStateValue == 18
|| sensorStateValue == 28 || sensorStateValue == 22){
    //01011, 00011, 01001, 00111, 01101
    finishCheck = 0;
    deadendCheck = 0;
    turnLeftCheck = 0;
    turnRightCheck = 0;
    if ((algorithm == 'L') && (intersectionVisited != 1)){
        intersectionVisited = 1;
        turnLeft();
        motorsForward();
    }
    else if ((algorithm == 'R') && (intersectionVisited != 1)){
        intersectionVisited = 1;
        straightCheck = 1;
        return;
    }
    return;
}

```

Obr. 2.8 – Algoritmus detekce stykových křižovatek

```

// + Křižovatka
if (sensorStateValue == 10 || sensorStateValue == 8 || sensorStateValue == 2
|| sensorStateValue == 6 || sensorStateValue == 12){
    //01010, 00010, 01000, 01100, 00110
    finishCheck = 0;
    deadendCheck = 0;
    turnLeftCheck = 0;
    turnRightCheck = 0;
    if ((algorithm == 'R') && (intersectionVisited != 1)){
        intersectionVisited = 1;
        turnRight();
        motorsForward();
        return;
    }
    else if ((algorithm == 'L') && (intersectionVisited != 1)){
        intersectionVisited = 1;
        turnLeft();
        motorsForward();
        return;
    }
    return;
}

// T Křižovatka
if (sensorStateValue == 14){
    //01110
    finishCheck = 0;
    deadendCheck = 0;
    turnLeftCheck = 0;
    turnRightCheck = 0;
    if ((algorithm == 'R') && (intersectionVisited != 1)){
        intersectionVisited = 1;
        turnRight();
        motorsForward();
        return;
    }
    else if ((algorithm == 'L') && (intersectionVisited != 1)){
        intersectionVisited = 1;
        turnLeft();
        motorsForward();
        return;
    }
}

```

Obr. 2.9 – Algoritmus detekce průsečné křižovatky a křižovatky T

POUŽITÁ LITERATURA

NOVÁK, P. 2005. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN – technická literatura. 248 s. ISBN 80-7300-141-1.