



# FYZIKÁLNY MODEL AUTONÓMNEHO VOZIDLA AUTIVO

*Fakulta elektrotechniky a informatiky*

*Radovan Sivý*

Tento učebný text vznikol za finančnej podpory projektu KEGA 011TUKE-4/2013. Je určený študentom bakalárskeho a inžinierskeho štúdia študijného programu Automatizácia mechatronických systémov pre výučbu v predmetoch Modely dynamických sústav, Riadenie montážnych liniek programovateľnými automatmi, Riadiace a vizualizačné systémy.

NÁZOV: Fyzikálny model autonómneho vozidla AUTIVO

AUTOR: Ing. Radovan Sivý

VYDAVATEĽ: Technická univerzita v Košiciach

ROK: 2015

ROZSAH: 35 strán

VYDANIE: prvé

Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

Za odbornú a obsahovú stránku zodpovedá autor.

## Úvod

Fyzikálny model AUTIVO je komplexný mechatronický systém s riadiacim systémom na báze PLC a vizualizačným rozhraním. Je určený okrem možnosti testovania rôznych navigačných teórií aj pre riešenie rôznych úloh spojených s jeho návrhom, ako je dimenzovanie elektromotorov, akumulátora, návrh a realizácia regulačných štruktúr použitých pohonov až po vizualizáciu a správu dát na najvyššej úrovni (napr. tvorba mapy priestoru).

Fyzikálny model AUTIVO umožní študentom získavať praktické poznatky a skúsenosti predovšetkým:

- s navrhovaním a ladením riadiacich programov pre programovateľné automaty,
- s aplikáciou a verifikáciou zložitých riadiacich štruktúr reálnych mechatronických systémov,
- s realizáciou a overovaním rôznych navigačných teórií pre pohyb vozidla v priestore,
- s vytváraním vizualizačných aplikácií pre správu dát, monitorovanie a ovládanie mechatronických systémov,
- so vzdialeným riadením častí technológií z ľubovoľného miesta cez internet.

# Obsah

Zoznam obrázkov .....	6
Zoznam tabuliek .....	7
Zoznam symbolov a skratiek .....	8
1. Fyzikálny model .....	9
1.1. Podvozok .....	9
1.2. Požiadavky na pohon .....	10
1.3. Akumulátor a napájacia sústava .....	12
1.4. Napät'ové sústavy .....	12
1.5. Správa napájania .....	13
1.6. Riadiaca jednotka .....	14
1.7. Komunikačné zbernice .....	16
1.7.1. Ethernet .....	16
1.7.2. RS485 .....	16
1.7.3. Wireless LAN .....	17
1.8. IP kamera .....	18
1.9. Laserový snímač .....	18
1.10. Bezpečnostné prvky .....	19
1.10.1. Total Stop .....	19
1.10.2. Watchdog .....	19
1.10.3. Infra snímače .....	19
2. Zvolené metódy spracovania .....	20
2.1. Korekcia kumulatívnej chyby polohy vozidla vzhľadom na skutočnú polohu ....	20
2.1.1. Overenie presnosti výpočtu aktuálnej polohy .....	20
2.1.2. Overenie presnosti laserového skenera .....	21
2.1.3. Výpočet funkcie obrysov mapy .....	21
2.1.4. Porovnávanie dvoch máp .....	22

2.2.	Filtrácia a korekcia dvojdimenzionálnej mapy získanej z laserového skenera ....	23
2.2.1.	Definícia nespojitostí v dvojdimenzionálnej mape .....	24
2.3.	Kombinovaná behaviorálna a kognitívna metóda pre splnenie dopravnej úlohy.	26
2.3.1.	Štruktúra rozhodovacej úrovne autonómneho riadenia .....	26
2.3.2.	Rozhodovací algoritmus .....	27
2.3.3.	Experimentálne overenie algoritmu.....	28
3.	Programové vybavenie vizualizačnej aplikácie .....	29
3.1.	Komunikácia s riadiacou jednotkou .....	29
3.2.	Ovládacie rozhranie .....	29
3.2.1.	Prístroje ovládacieho rozhrania .....	29
3.2.2.	Časovanie aplikácie .....	31
3.2.3.	Manuálne ovládanie vozidla.....	32
3.3.	Funkcie pre prácu s laserovým skenerom.....	32
3.3.1.	Skenovanie .....	32
3.3.2.	Vytváranie mapy priestoru .....	33
3.3.3.	Funkcia MAP ZOOM.....	33
3.3.4.	Funkcia MAP SHIFT .....	33
3.3.5.	Funkcia MAP DISCONTINUITY.....	34
3.4.	Generovanie trajektórií .....	34

## Zoznam obrázkov

Obr. 1 Rozmery šasi.....	10
Obr. 2 Uloženie motorov v zadnej časti šasi .....	12
Obr. 3 Komunikačná sieť RS485 .....	17
Obr. 4 Prístupový bod Ovislink WL-5460AP.....	17
Obr. 5 Laserový snímač SICK DT60-211B .....	18
Obr. 6 Porovnanie vypočítanej polohy a skutočnej nameranej polohy vozidla .....	20
Obr. 7 Zúžený priestor kancelárie s vnorenou mapou pri overovaní presnosti skenera.....	21
Obr. 8 Výpočet uhlov medzi jednotlivými úsečkami mapy .....	22
Obr. 9 Zjednodušený priestor pre porovnávanie dvoch máp, 1. poloha vozidla v počiatku súradnicovej sústavy, 2. poloha vozidla po zavedení chyby polohy .....	22
Obr. 10 Výsledné navzájom posunuté a natočené mapy zjednodušeného priestoru .....	22
Obr. 11 Obrysovú funkcie oboch máp pre porovnávanie.....	23
Obr. 12 Ukázkový príklad variabilného priestoru kancelárie pre demonštráciu filtrácie mapy.....	24
Obr. 13 Dvojdimenziálna mapa kancelárie bez aplikácie filtra .....	24
Obr. 14 Výsledok filtrácie so zobrazením priebehu vzdialeností medzi bodmi upravenej mapy ....	25
Obr. 15 Štruktúra rozhodovacej úrovne autonómneho riadenia.....	26
Obr. 16 Vývojový diagram rozhodovacieho algoritmu.....	27
Obr. 17 Výsledná trajektória vozidla a fotografie v jednotlivých bodoch, pri aplikovaní vývojového diagramu.....	28
Obr. 18 Rozdelenie ovládacieho rozhrania .....	29
Obr. 19 a) Ľavá zóna b) Pravá zóna .....	30
Obr. 20 Riadiaca oblasť .....	31

## Zoznam tabuliek

Tab. 1 Technické parametre zvoleného motora a prevodovky.....	11
Tab. 2 Elektrické parametre DC-DC meniča TEN 40-2412 .....	13
Tab. 3 Rozdelenie istenia napájacích okruhov .....	13
Tab. 4 Rozdelenie napájacích okruhov podľa spínacích prvkov.....	14
Tab. 5 Rozdelenie digitálnych vstupov podľa signálov .....	15
Tab. 6 Rozdelenie digitálnych výstupov podľa signálov .....	15
Tab. 7 Rozdelenie analógových vstupov podľa signálov.....	16
Tab. 8 Časovanie prístrojov Control Web 5.....	31

## **Zoznam symbolov a skratiek**

Tento zoznam je nepovinný. Vypĺňa sa len v prípade značiek a symbolov, ktoré nie sú štandardami a nepatria do SI sústavy veličín.

IP –Internet Protocol

PLC –Programmable Logic Controller (Programovateľný logický automat)

WiFi –Wireless Fidelity (Bezdrôtová technológia prenosu dát)

PC –Personal Computer

LED –Light Emitting Diode

MAC –Media Access Control

LAN –Local Area Network

WPA –WiFi Protected Access

TKIP –Temporal Key Integrity Protocol

CMOS–Complementary metal-oxide-semiconductor



# 1. Fyzikálny model

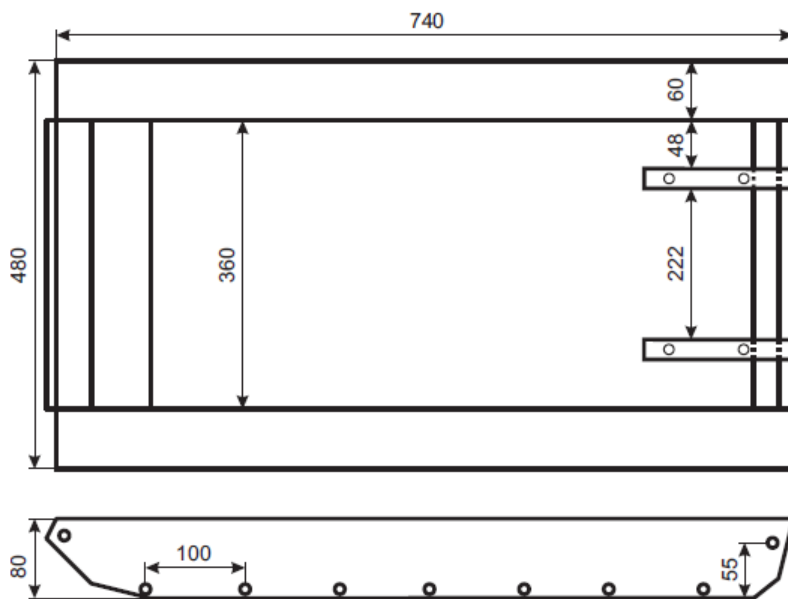
Fyzikálny model autonómneho vozidla je druhom priemyselných robotov, ktoré sú čoraz častejšie nasadzované v priemysle. Pre navádzanie takýchto vozidiel sa používajú rôzne navigačné teórie. Veľkosť modelu bola prispôbená pre pohyb vo vnútorných priestoroch administratívnych budov. Pri stavbe fyzikálneho modelu autonómneho vozidla boli riešené nasledujúce úlohy:

- mechanická časť podvozku s pohonom jednosmernými motormi s permanentnými magnetmi,
- dimenzovanie akumulátora a napájacích okruhov vozidla,
- riadenie pohonov pomocou programovateľného logického automatu,
- komunikácia s nadradeným ovládacím a vizualizačným rozhraním,
- stavba laserového skenera ako interakčného prvku s okolím,
- programové vybavenie ovládacieho rozhrania a funkcie pre prácu s laserovým skenerom.

V prvej kapitole sú popísané jednotlivé mechanické a elektrické časti vozidla a parametre, ktoré boli pri tomto návrhu použité. V druhej časti je popísané programové vybavenie riadiacej jednotky vozidla s riadiacimi procesmi, ktoré v nej prebiehajú pri prevádzke. V tretej časti je popísaný softvér vizualizačnej aplikácie vygenerovanej v programe Control WEB 5. Štvrtá časť pojednáva o funkciách tohto ovládacieho rozhrania pre prácu s laserovým skenerom. V poslednej kapitole je uvedená diagnostika vozidla na poruchové stavy.

## 1.1. Podvozok

Podvozok je základnou mechanickou časťou každého autonómneho vozidla. Od jeho tvaru a konštrukcie sa ďalej odvíja návrh pohonnej jednotky ako aj systém, ktorý zabezpečuje pohyb v priestore vo všetkých štyroch smeroch. Pre jeho návrh je potrebné zadať základné prostredie, v ktorom sa bude autonómne vozidlo pohybovať. Pre vozidlo, ktoré je popísané v tejto práci, bol zadefinovaný základný priestor ako vnútorný priestor obytných a administratívnych budov. Na základe takto zadefinovaného priestoru bol navrhnutý podvozok pohybujúci sa na dvoch nezávisle poháňaných článkových pásoch. Tento systém podvozku bol zvolený hlavne kvôli jednoduchému riadeniu smeru pohybu a nulovému rádiusu otočenia vozidla o  $180^\circ$ , pričom pre takéto otočenie je potrebný priestor vymedzený kružnicou s priemerom dĺžky uhlopriečky vozidla. Dĺžka uhlopriečky podvozku, ktorý má tvar obdĺžnika, priamo závisí na rozmeroch použitého riadiaceho systému a ostatných elektronických obvodov, pričom bol kladený dôraz na použitie štandardných systémov používaných v automatizácii. Avšak táto dĺžka je obmedzená priechodnosťou prostredím a schopnosťou otáčania sa, teda šírkou dverí a šasi podvozku podľa obr. 1.



Obr. 1 Rozmery šasi

Pre opisovanie nerovností terénu pásom, bolo podľa predlohy zvolených sedem nezávisle zavesených kolies v jednom páse. Každé z nich je upevnené na váhadle a klzným ložiskom pripojené k šasi podvozku. Moment v ramene váhadla vytvára špirálová pružina uložená z vnútornej strany šasi. Každé takto uložené koleso má možnosť spojitého nastavenia vztlakovej sily, čo je dôležité pre excentrický bod ťažiska modelu. Vpredu sa nachádza napínacie koleso, ktorým sa nastavuje napnutie pásov po zaťažení kolies. Moment motora sa na pásy prenáša rozetou uloženou vzadu. Samotný pás sa skladá z troch druhov článkov vyrobených z tvrdého plastu.

## 1.2. Požiadavky na pohon

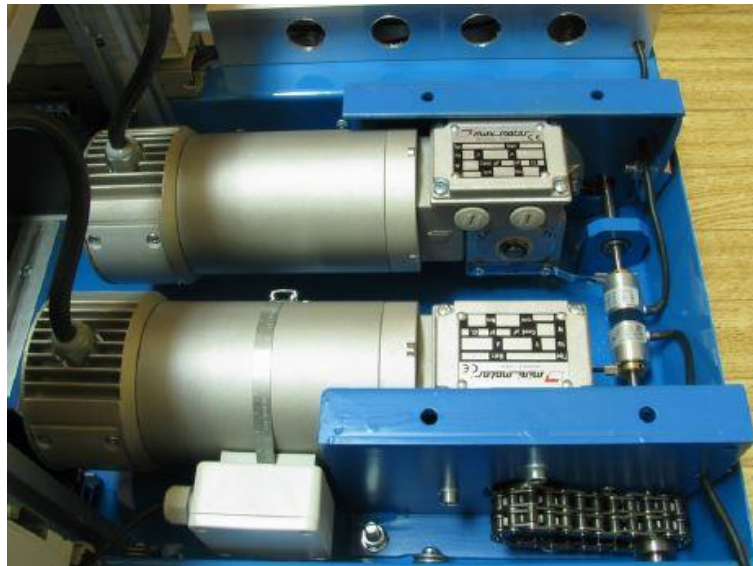
Pre pohyb vozidla na pásovom podvozku je potrebné zabezpečiť samostatné riadenie rýchlosti ľavého a pravého pásu. Táto podmienka sa vyžaduje pre zabezpečenie zatáčania vozidla vľavo a vpravo a to aj pre jazdu smerom vpred a taktiež pre jazdu smerom vzad. Riadenie diferencie rýchlosti medzi ľavým a pravým pásom musí byť navrhnuté tak, aby bolo možné zdefinovať polomer zatáčania vozidla v závislosti od strednej rýchlosti vozidla. Špeciálny prípad zatáčania vozidla je pri nulovej strednej rýchlosti a nulovom polomere zatáčania. V tomto prípade sa vozidlo nepohybuje v priestore voči globálnej súradnicovej sústave, ale len mení uhol natočenia v tejto súradnicovej sústave. Pohon preto musí zabezpečiť rovnakú rýchlosť pre ľavý a pravý pás ale s opačnými znamienkami. Pre pohon vozidla môžu byť zvolené rôzne systémy v závislosti od požadovanej maximálnej rýchlosti, presnosti riadenia, dojazdu a dynamiky zmeny smeru a rýchlosti. Zvolený systém pohonu a jeho dimenzovanie priamo súvisí s rozmermi a hmotnosťou samotného vozidla. Pre pohon boli použité dve oddelené systavy elektromotora a prevodovky pre každý pás zvlášť. Spojenie týchto sústav je v dvoch bodoch a to mechanické spojenie o podložku

pod vozidlom a elektrické (programové) spojenie v riadiacej jednotke, ktorá zabezpečuje riadenie rýchlosti oboch pásov v závislosti na hore uvedených podmienkach pohybu v globálnej súradnicovej sústave.

Podmienkou pre výber sústavy motor-prevodovka, bola možnosť rekuperácie energie smerom od hnacej rozety do batérie pri brzdení. Pričom pre rozmery a umiestnenie motorov v šasi je nutné použiť 90° uhlový prevod. Z katalógu bol vybraný motor s prevodovkou v nerozoberateľnom vyhotovení s bez údržbovou prevádzkou. Prevodovka je uzavretý systém bez nutnosti pridávania alebo výmeny maziva. Jej životnosť presahuje životnosť komutátora samotného motora. Skriňa je zo zliatiny hliníka. Osová vzdialenosť 26mm, ozubený veniec šnekového kolesa je tvrdosti 110HB. Šnek je brúsený z tvrdenej ocele, uložený v guľčkových a kužeľových ložiskách. Použitý je prírubový systém B5/S a B5/D pre pravý a ľavý pás. Technické údaje tejto sústavy sú v tabuľke 1. Pre túto kolíziu rozmerov príruby prevodovky a šasi bolo potrebné vytvoriť posunutie uloženia motora s prevodovkou smerom do stredu šasi. Na hriadeli prevodovky a hriadeli hnacej rozety boli upravené 11 zubové reťazové kolesá a prepojené 24 článkovou dvojradovou valčekovou reťazou 06B-2 s medznou pevnosťou 18,7kN. Na obrázku 2 je zobrazené uloženie motorov v šasi.

Tab. 1 Technické parametre zvoleného motora a prevodovky

Typ	MCC 24MP4N	
Napájacie napätie	24	[V]
Prúd	9,6	[A]
Príkion	230	[W]
Výkon	150	[W]
Vstupné otáčky	2800	[ot/min]
Prevodový pomer	7,5	
Výstupné otáčky	373	[ot/min]
Nominálny krútiaci moment	3,4	[Nm]
Trieda izolácie	F	
Krytie	IP65	
Hmotnosť	6,26	[kg]



Obr. 2 Uloženie motorov v zadnej časti šasi

### 1.3. Akumulátor a napájacia sústava

Pre napájanie vozidla môžu byť použité rôzne druhy akumulátorov. Z ekonomických a kapacitných dôvodov bola zvolená skupina trakčných akumulátorov. Tieto akumulátory sú stavané pre dlhodobé vybíjanie strednými prúdmi. Ich životnosť sa pohybuje od 600 do 1000 nabíjajúcich cyklov. Pre zvýšenie životnosti sa odporúča využívať 80% kapacity akumulátora. Základné požiadavky pre dimenzovanie sú napätie, priemerný odoberaný výkon a dojazd vozidla. Dojazd môže byť definovaný v kilometroch, alebo v prevádzkových hodinách. Pre naše vozidlo bol zvolený akumulátor Panasonic 24/17 s kapacitou 17Ah. Konštrukčne je akumulátor riešený ako bezúdržbový uzavretý systém vhodný pre použitie vo vnútorných priestoroch.

### 1.4. Napät'ové sústavy

Elektrické obvody vozidla sú zostavené zo štandardných automatizačných prvkov. Riadiace jednotky, snímače a spínacie prvky pracujú s napájacím napätím 24V. Teda tieto prvky sú napájané priamo z akumulátora a tvoria prvú napät'ovú sústavu. Prvky druhej napät'ovej sústavy pracujú s napätím 12V. Tieto prvky boli použité pre zabezpečenie navrhnutých funkcií vozidla. Napät'ová sústava sa skladá z modulu WL- 5460AP pre bezdrôtový prenos údajov v sieti Ethernet a Internet Protocol (IP) kamery PT7135 zabezpečujúcej snímanie obrazu v okolí vozidla pri manuálnom režime pohybu. Maximálne prúdové zaťaženie tejto sústavy je 2A. Pre zníženie napätia na úroveň 12V bol použitý jednosmerný znižovací menič TracoPower TEN 40-2412.

Tab. 2 Elektrické parametre DC-DC meniča TEN 40-2412

Vstupný prúd bez zaťaženia	100	[mA]
Vstupný prúd pri maximálnom zaťažení	2000	[mA]
Zmena vstupného napätia	max 5	[Vs <sup>-1</sup> ]
Napätie potrebné pre spustenie	17,8	[V]
Najnižšie prevádzkové napätie	15,8	[V]
Napäťový ráz (100ms max.)	50	[V]
Presnosť výstupného napätia	±1	[%]
Spúšťací čas	25	[ms]
Ochrana proti prepätiu na výstupe	15	[V]
Spínacia frekvencia (PWM)	300	[kHz]
Účinnosť	90	[%]

Elektrické obvody vozidla, boli rozdelené do skupín podľa priority napájania. Napájacie okruhy sú istené tavnými sklopoistkami podľa tabuľky 2 – 7. Obvody so spoločným istením ale rozdielnou prioritou zapínania sú zapojené na jednom istiacom prvku a delia sa pred reléovým modulom ovládaným pomocou PLC.

Tab. 3 Rozdelenie istenia napájacích okruhov

Poistka	$I_N$ [mA]	Spotrebič
FU.1	100	Stop tlačidlo
FU.2	300	Snímače teploty
FU.3	200	Modul analógových vstupov
FU.4	500	Inkrementálne (IRC) a infra snímače
FU.5	300	Reléový modul
FU.6	500	Moduly digitálnych vstupov a analógových výstupov
FU.7	200	Programovateľný logický automat
FU.8	10 000	Pravá sústava menič-motor
FU.9	10 000	Ľavá sústava menič-motor
FU.10	3 000	Druhá napäťová sústava, DC-DC menič TEN 40-2412
FU.11	500	Osvetlenie vozidla
FU.12	1 000	Vzduchotechnika
FU.13	2 000	Laserový skener

## 1.5. Správa napájania

Správa napájania zabezpečuje najvhodnejšiu kombináciu zapnutých napájacích okruhov pre zabezpečenie požadovanej funkcie vozidla ako celku. Zároveň monitoruje stav akumulátora a obmedzuje napájanie obvodov s menšou prioritou. Pre určenie použiteľnej kapacity akumulátora, resp. času do najbližšieho nabíjania, môže byť použitý neurónový model elektrochemického článku. V prvých fázach nabíjania a vybíjania akumulátora nastavuje neurónová sieť váhy neurónov tak, aby neskôr slúžila ako model akumulátora. Takto namodelovaná sústava poskytuje užívateľovi údaj o zostávajúcom čase do vybitia akumulátora. Zo zostávajúceho času môžu byť následne vyhodnotené stavy napájania. Pre vozidlo boli zadané tri stavy napájania:

- Normal mode: Stav pri ktorom je postačujúca kapacita akumulátora. Môžu byť zapínané a vypínané všetky napájacie okruhy. Vozidlo je v tomto stave pripravené plniť požadované funkcie
- Safety mode: Stav pri ktorom sa využiteľná kapacita akumulátora blíži k nule. Riadiaca jednotka vypne všetky okruhy, ktoré priamo nesúvisia s bezpečným návratom vozidla k užívateľovi, napr. snímače teploty. Tieto okruhy nie je možné opätovne zapnúť. Pri prechode vozidla do tohto stavu je nutné okamžite zabezpečiť návrat k užívateľovi a stabilnú polohu vozidla pre následné nabíjanie akumulátora.
- Standby mode: Stav s najnižším výkonovým zaťažením akumulátora. Riadiaca jednotka vypne všetky ovládateľné okruhy vozidla. V zapnutom stave je len riadiaca jednotka a WiFi modul pre komunikáciu. Tento stav je vhodný pre čakanie vozidla na ďalšie použitie. Po prepnutí do predchádzajúcich stavov sa vyhodnotí kapacita akumulátora. V tomto móde je možné individuálne zapnutie niektorého napájacieho okruhu.

V tabuľke 4 je rozdelenie napájacích okruhov podľa spínacích prvkov. Pre jednotlivé stavy správy napájania sú vyznačené povolené okruhy napájania

Tab. 4 Rozdelenie napájacích okruhov podľa spínacích prvkov

Relé	Spotrebič	Normal	Safety	Stand by
RL.0	IRC snímače	✓	×	×
RL.1	Infra snímače	✓	✓	×
RL.2	Moduly digitálnych vstupov a analógových výstupov	✓	✓	×
RL.3	IP kamera	✓	×	×
RL.4	Modul analógových vstupov	✓	×	×
RL.5	Snímače teploty	✓	×	×
RL.6	Laserový radar	✓	×	×
RL.7	Vzduchotechnika	✓	×	×
S1	Programovateľný logický automat Amini-ES	✓	✓	✓
S1	WiFi modul Ovislink WL-5460AP	✓	✓	✓

## 1.6. Riadiaca jednotka

Riadiaca jednotka bola navrhnutá na báze programovateľného logického automatu firmy AMiTr. Kompaktné PLC typ AMiNi-ES bolo zvolené pre požadované funkcie vozidla. Tento typ PLC sa vyznačuje malými rozmermi a bohatými komunikačnými možnosťami. Programové vybavenie PLC bolo vytvorené v parametrizačnej aplikácii PSP3. Parametrizačný softvér PSP3 bol špeciálne vyvinutý firmou AMiTr pre parametrizovanie vyrábaných logických automatov. AMiNi-ES má osem digitálnych vstupov. V opisovanom vozidle je využívaný jednosmerný typ vstupného signálu. Pre funkciu vozidla ako dynamického systému bolo potrebné zabezpečiť dostatočne rýchle vzorkovanie vstupných signálov. Digitálne signály s periódou viac ako 500ms boli presunuté do

modulu digitálnych vstupov. Rýchle vstupné signály (IRC) sú obsluhované priamo procesorom PLC. V tabuľke 5 je popísaných osem digitálnych vstupov s označením vstupu, pripojeným signálom a označením svorky prepoja signálu. Vstupy signálov z IRC snímačov pracujú v čítačovom režime. Vstup zo STOP tlačidla je naviazaný na prerušovací proces ITR7. Proces sa spúšťa prerušením 24V signálu na vstupe.

Tab. 5 Rozdelenie digitálnych vstupov podľa signálov

Signál	Zdroj	Svorka
DI.0	A signál ľavý IRC snímač rozety	X1.25
DI.1	B signál ľavý IRC snímač rozety	X1.26
DI.2	B signál pravý IRC snímač rozety	X1.20
DI.3	A signál pravý IRC snímač rozety	X1.19
DI.4	A signál IRC snímač laserového skenera	X2.4
DI.5	B signál IRC snímač laserového skenera	X2.2
DI.6	0 signál IRC snímač laserového skenera	X2.3
DI.7	+24V signál zo STOP tlačidla	TL1.A2

Digitálne výstupy PLC pracujú s 24 voltovým jednosmerným napätím. Použitie jednotlivých výstupov s prepajom na svorku ovládaného zariadenia je popísané v tabuľke 6. Krokovací signál DO.4 z tabuľky 6 je použitý ako impulzový výstup. Šírka a počet impulzov je nastavovaná modulom IMP. Signál je upravený na napätovú úroveň vhodnú pre menič krokového motora v module pomocnej elektroniky.

Tab. 6 Rozdelenie digitálnych výstupov podľa signálov

Signál	Účel	Svorka
DO.0	Reverzácia ľavého pásu	MPE.10
DO.1	Reverzácia pravého pásu	MPE.15
DO.2	Povolenie prúdu do motorov	L(R)-ADS.S.3
DO.3	Zapínanie napájania meničov	MPE.21
DO.4	Krokovací signál pre menič laserového skenera	MPE.24
DO.5	Smer otáčania krokového motora	MPE.23
DO.6	Zapnutie prúdu do krokového motora	MPE.22
DO.7	Zapnutie diódy laserového snímača	X1.33

Analógový vstup AI.0 bol prednastavený na rozsah 4 až 20mA. Vstupy AI.1 až AI.3 sú prednastavené na rozsah 0::10V. Popis jednotlivých analógových signálov s priradeným zdrojom je v tabuľke 7 Komunikačné rozhranie RS232 nie je vo vozidle využívané. Jeho využitie je hlavne pri servisnom zásahu, zmene konfigurácie, alebo pri aktualizácii operačného systému. Perspektívne môže byť použité pre komunikáciu s GPRS modemom.

Tab. 7 Rozdelenie analógových vstupov podľa signálov

Signál	Zdroj	Svorka
AI.0	Vzdialenosť meraná laserovým snímačom	X1.32
AI.1	Prúd ľavého motora	L-ADS.S.8
AI.2	Prúd pravého motora	R-ADS.S.8
AI.3	Meranie napätia akumulátora	MPE.17

## 1.7. Komunikačné zbernice

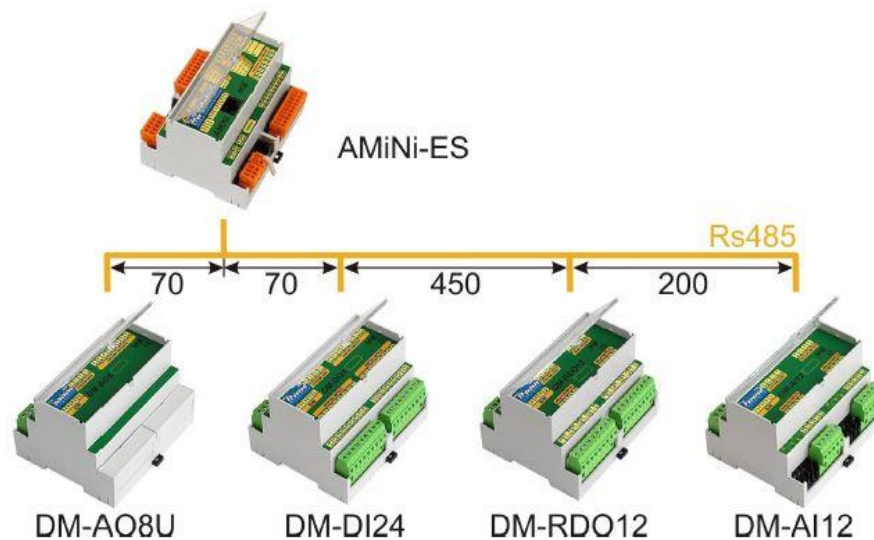
### 1.7.1. Ethernet

Komunikácia s nadradeným vizualizačným prostredím sa skladá z dvoch dátových segmentov. Prvým je Ethernet štandardizovaný normou IEEE 802.3. Ethernetové rozhranie riadiacej jednotky AMiNi-ES pracuje s komunikačnou rýchlosťou 10Mbps. AMiNi-ES neumožňuje klientský prístup k DHCP (Dynamic Host Control Protocol) serveru a preto bola zadefinovaná statická IP adresa: 10.0.0.136. Jednotka je fyzicky pripojená do portu 1 prístupového bodu WL-5460AP. Komunikácia s nadradeným vizualizačným softvérom Control WEB 5 prebieha na základe protokolu UDP (User Datagram Protocol). Pre priame začlenenie riadiacich jednotiek AMiTr do sietí ethernet bol vyvinutý priemyselný informačný systém DB-Net/IP, ktorý predstavuje súbor technických a programových prostriedkov. Systém DB-Net/IP rieši zabezpečenie prístupu, každý komunikačný paket je zabezpečený autorizačnými údajmi. Ochrana pred odpočúvaním hesla je zabezpečená neprenášaním hesla cez sieť. AMiNi-ES vystupuje v sieti ako stanica SLAVE. Každý databázovej premennej jednotky bol pridelený unikátny WID. Požiadavky na čítanie a zápis databázových premenných vysiela Control WEB 5 ako MASTER. Komunikácia prebieha cez komunikačné kanály, ktoré sú vytvárané podľa čísla WIDu prenášanej premennej. Komunikáciu a komunikačné kanály definuje ovládač DDBNet32

### 1.7.2. RS485

Komunikácia v opisovanom vozidle pracuje v režime Half-Duplex. V tomto režime je možné do siete zapojiť maximálne 63 modulov. Vo vozidle sú použité štyri rozširujúce moduly 2.6. Je použitý polo duplexný obojsmerný prenos. Master (AMiNi-ES) vysiela rámce slaveom (moduly), v správe si na niektoré môže vyžiadať odpoveď bitom Resp. req. Slave odpovedá do doby odpovedajúcej desiatim znakom, najskôr však až po uplynutí doby odpovedajúcej trom znakom, aby sa zaistil čas potrebný na prepnutie budičov komunikačnej linky. Vo vozidle bola vytvorená komunikačná sieť, s dĺžkami prepojení v [mm], podľa obr. 3.





Obr. 3 Komunikačná sieť RS485

### 1.7.3. Wireless LAN

Bezdrôtová LAN (Local Area Network) tvorí druhý dátový segment komunikácie s vizualizačným rozhraním. Keďže tento komunikačný segment je vstupno-výstupná brána ovládania vozidla, pri návrhu bol kladený dôraz na jednoduchosť spojenia s vozidlom a možnosť zmeny ovládacieho zariadenia. Na základe týchto požiadaviek bola zvolená bezdrôtová komunikácia s normou IEEE 802.11g vo voľnom frekvenčnom pásme 2,4GHz. Táto norma umožňuje rýchlosť prenosu dát typicky 23Mbps a maximálne 54Mbps. Potrebná prenosová rýchlosť pre vozidlo sa skladá z rýchlosti komunikácie AMiNi-ES (10Mbps) a dátového toku obrazu a zvuku IP kamery (1,2Mbps), teda typická prenosová rýchlosť tejto normy 23Mbps spĺňa požiadavku pre komunikáciu s vozidlom 11,2Mbps. Vo vozidle bol, pre vytvorenie spojenia, použitý prístupový bod Ovislink WL-5460AP, obr.4.



Obr. 4 Prístupový bod Ovislink WL-5460AP

Zabezpečenie bezdrôtového prenosu je pri takomto vozidle veľmi dôležité. Šifrovanie dát bolo zvolené cez WPA (Wi-Fi Protected Access) s použitím TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), ktorý dynamicky mení kľúč podľa využitia spojenia. K vozidlu môže byť naraz pripojených viacero zariadení. Napr. pri použití viacerých rovnakých vozidiel sa môže niektorý počítač sústreďovať len na zber diagnostických údajov z vozidiel a plánovať tak ich údržbu.

### 1.8. IP kamera

Účel stavby vozidla ráta s manuálnym a autonómnym režimom práce. V manuálnom režime je vozidlo navádzané viditeľným kontaktom užívateľa s vozidlom. Avšak pre prípad, že vozidlo je v priestore mimo dosahu užívateľa, bola zvolená IP kamera s možnosťou natáčania. Natáčanie kamery je vo vertikálnom smere 125° a v horizontálnom smere 350°. Prídavné funkcie kamery umožňujú zadefinovať dráhu hlavy a tým sledovať priestor okolo vozidla bez ručného ovládania pohybu. Zálohovací softvér dodávaný ku kamere umožňuje nepretržité cyklické nahrávanie obrazu a zvuku a jeho následné prehládávanie podľa dátumu a času.

### 1.9. Laserový snímač

Laserový snímač pracuje na vlnovej dĺžke 650nm. Vysielaný lúč má výkon 22mW. Odraz lúča je zachytávaný v optike a z časovej diferencie je vypočítaná vzdialenosť. Výstup snímača pracuje v rozsahu 4:::20mA. Závislosť výstupného prúdu QA na meranej vzdialenosti je zobrazená na obr. 5. Čas za ktorý sa ustáli výstup na hodnote odpovedajúcej práve meranej vzdialenosti je 50ms. Tento čas je nutné ponechať snímač v pokoji. A teda je smerodajný pri dimenzovaní riadiaceho procesu popísaného v 3.7. Snímač má možnosť vypínania laser diódy cez vstup MF (Multifunction). Riadiaca jednotka zapína túto diódu len pri meraní. Týmto sa obmedzuje spotreba celého skenera, ale aj zvyšuje bezpečnosť, keďže laserová dióda patrí do kategórie 2 normy EN 60 825-1. Snímač má krytie IP67, čo umožňuje mechanické umiestnenie mimo kabíny vozidla.



Obr. 5 Laserový snímač SICK DT60-211B

## 1.10. Bezpečnostné prvky

Rozmery, váha vozidla a výkon motorov si vyžaduje implementáciu bezpečnostných prvkov. Hybnosť nekontrolovaného vozidla pri rýchlosti 1-2m/s, vo vnútorných priestoroch, môže spôsobiť materiálne škody.

### 1.10.1. Total Stop

Tlačidlo Total Stop je štandardný bezpečnostný prvok strojov. Implementácia do vozidla je z dôvodu možnosti rýchleho zastavenia vozidla bez ovládacieho rozhrania PC. Tlačidlo je jeden z dvoch ovládacích prvkov, ktoré sú priamo na vozidle. Umiestnenie bolo zvolené tak, aby v prípade núdze bolo tlačidlo ľahko stlačiteľné zo všetkých strán. Elektricky je tlačidlo pripojené priamo na riadiacu jednotku. Pri nestlačení tlačidla je na vstupe riadiacej jednotky +24V. Pri stlačení sa tento obvod preruší a na zostupnú hranu signálu. Proces najprv vypína povolenie prúdu do motorov a napájanie motorov. Následne vypína všetky napájacie okruhy. Po vypnutí nastaví bit Total stop na jednotku a ten potom indukuje stlačenie Total Stop vo vizualizačnej aplikácii. Bezpečnostné vypínanie je teda softvérové. Takýto prístup bol zvolený kvôli možnosti opätovne zapínať obvody z ovládacieho PC. Vo vizualizačnej aplikácii sa zobrazí tlačidlo TOTAL STOP UNLOCK, ktoré odblokuje stav po fyzickom stlačení tlačidla na vozidle.

### 1.10.2. Watchdog

Watchdog je softvérový bezpečnostný prvok. Zabezpečuje kontrolu nad spojením s nadradeným vizualizačným rozhraním a v prípade straty spojenia automaticky zastavuje vozidlo.

### 1.10.3. Infra snímače

Bezpečné zastavenie vozidla pred objektom bolo navrhnuté pomocou šiestich infra snímačov. Tieto snímače majú výstupný signál typu PUSH-PULL (ZAP-VYP). Zastavenie vozidla je riadené priamo z riadiacej jednotky vozidla, takže aj po strate spojenia s nadradeným systémom, vozidlo bezpečne zastaví. Štyri snímače boli umiestnené do rohov šasi. Tieto snímače zabezpečujú snímanie voľného priestoru pre pohyb pásov vpred a vzad. Vzďialenosť, pri ktorej spínač zopne výstup, bola nastavená na 120mm. Po zastavení vozidla pred objektom, je smer otáčania pásov blokován v smere k objektu. Problematické sú úzke objekty v strede medzi snímačmi, ktoré ich nedokážu zachytiť. Tento problém môže vyriešiť použitie laserového skenera ako bezpečnostného prvku, ktorý skenuje priestor pred vozidlom, pri pohybe. Ďalší snímač bol umiestnený do prednej časti vane šasi. Tento snímač sníma povrch pred vozidlom. Pokiaľ vozidlo príde na hranu povrchu s hĺbkou nad 170mm (napr. schodište), tento snímač vypne signál a riadiaca jednotka vozidlo zastaví. Šiesty snímač sníma priestor pred laserovým snímačom. Ak sa objaví objekt pred snímačom vozidlo zastaví. Tento snímač slúži ako elektronická varianta mechanickej zábrany pred snímačom. Tieto dva snímače sú využívané hlavne pri autonómnom režime pohybu

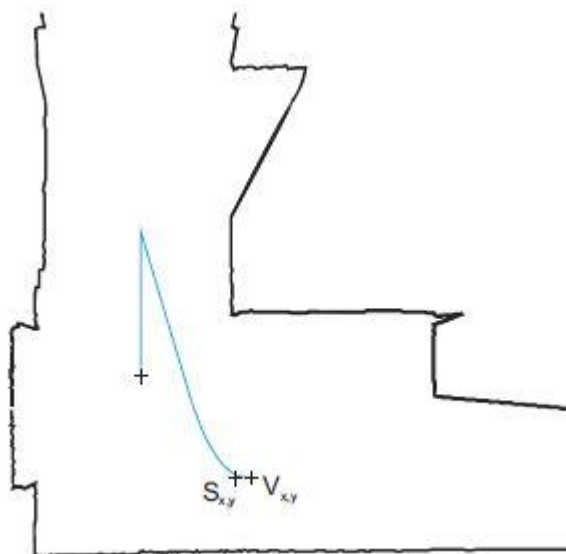
## 2. Zvolené metódy spracovania

### 2.1. Korekcia kumulatívnej chyby polohy vozidla vzhľadom na skutočnú polohu

Po spustení systému vo vozidle je aktuálna poloha vozidla v nule súradnicovej sústavy. Pri každom ďalšom pohybe je aktuálna poloha vozidla prepočítaná každých 100 ms. Vďaka v prevodovom systéme poháňaného kolesa a nezávislé zavesenie hlavných kolies v pásoch spôsobuje vnášanie nepresností do výpočtu aktuálnej polohy vozidla. Pre zistenie veľkosti chyby polohy bolo vykonané overenie presnosti a taktiež bolo vykonané overenie presnosti laserového skenera.

#### 2.1.1. Overenie presnosti výpočtu aktuálnej polohy

Aktuálna poloha vozidla je zadefinovaná parametrami  $x$ ,  $y$ ,  $\psi$ , podľa matematického modelu. Základom pre výpočet týchto parametrov je prejdená vzdialenosť ľavého a pravého pásu  $\theta_1$  a  $\theta_2$ . Overenie vypočítanej polohy bolo vykonané manuálnym pohybom vozidla v priestore, podľa trajektórie zobrazenej na obr. 6 modrou farbou. Výsledná vypočítaná poloha vozidla je v bode V a skutočná poloha nameraná voči okolitým objektom je v bode S.



Obr. 6 Porovnanie vypočítanej polohy a skutočnej nameranej polohy vozidla

Chyba sa prejaví hlavne pri zatáčaní vozidla. Pri krátkom presune je vypočítaná poloha relatívne presná, avšak pri dlhodobom pohybe sa kumulovaním chyby úplne vzdiali od reálnej polohy. Tu sa vytvára priestor pre vývoj korekčných pravidiel, buď v závislosti na opätovnom naskenovaní, alebo nelineárnou korekciou priamo pri výpočte.

### 2.1.2. Overenie presnosti laserového skenera

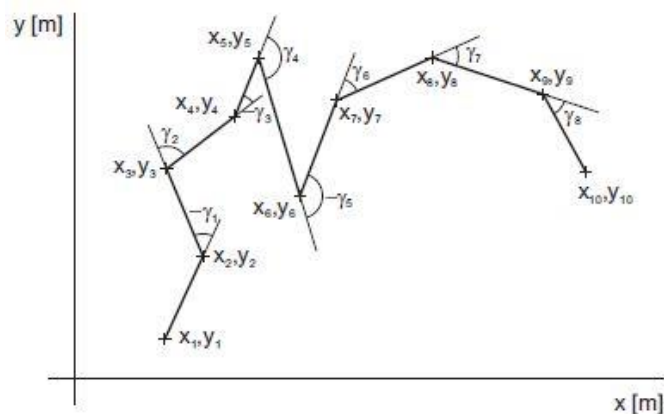
Overenie presnosti získaných bodov bolo vykonané pri skenovaní úzkeho priestoru, kvôli možnosti vnorenia fotografie do vektorovej mapy v rovnakej mierke. Výsledné spojenie fotografie a naskenovanej vektorovej mapy je na obr. 7. Mapa a rozmery objektov na fotografií sú v rovnakej mierke. Záver tohto experimentu je, že presnosť skenovania je dostatočná pre aplikáciu autonómnej navigácie na základe takto získaných dát. Presnosť skenera sa znižuje so vzdialenosťou objektu, avšak aj vo vzdialenosti 5,3m je presnosť merania  $\pm 1\text{cm}$ , čo je odchýlka 0,19%. Takáto chyba je zanedbateľná pri rozmeroch priestoru a vozidla.



Obr. 7 Zúžený priestor kancelárie s vnorenou mapou pri overovaní presnosti skenera

### 2.1.3. Výpočet funkcie obrysov mapy

Pre správne porovnanie máp je potrebné previesť obrysy mapy do samostatnej funkcie, ktorá dostatočne reprezentuje tvar mapy a umožní následné porovnanie s ďalšou mapou. Táto reprezentácia tvaru mapy musí byť nezávislá na posunutí a natočení mapy v globálnej súradnicovej sústave. Dvojdimenziálna mapa využíva pre vykreslenie samostatné body v systéme  $[x, y]$ . Pre nezávislosť otočenia mapy v globálnej sústave je potrebné vypočítať uhly medzi jednotlivými úsečkami mapy, obr. 8. Uhol nadobúda hodnoty v intervale  $< -\pi; +\pi >$ , pričom nulová zmena predstavuje priamu nadväznosť úsečiek bez zmeny smeru.



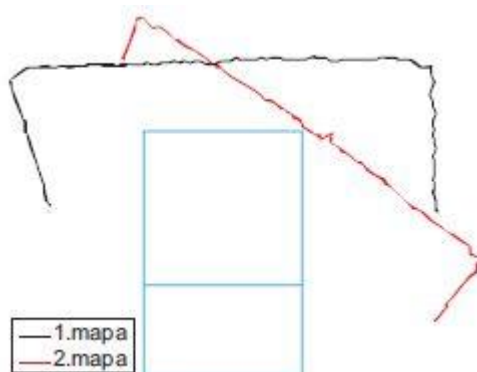
Obr. 8 Výpočet uhlov medzi jednotlivými úsečkami mapy

#### 2.1.4. Porovnávanie dvoch máp

Pre porovnanie dvoch navzájom posunutých a natočených máp bol vytvorený zjednodušený priestor v kancelárii podľa obr. 9-1. V polohe 1. na uvedenom obrázku bol skenovaný priestor pred vozidlom v rozsahu  $-80$  až  $+80$  stupňov. Výsledkom je vektorová mapa zobrazená na obr. 10 čiernou farbou. V tomto momente bola zavedená hrubá chyba aktuálnej polohy a to tak, že vozidlo bolo manuálne posunuté a natočené do druhej polohy podľa obr. 9-2.

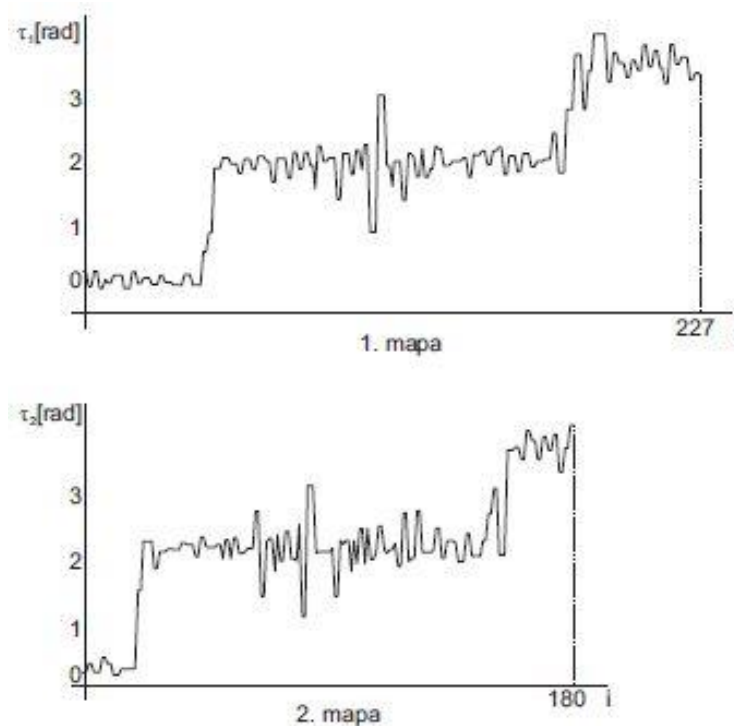


Obr. 9 Zjednodušený priestor pre porovnávanie dvoch máp, 1. poloha vozidla v počiatku súradnicovej sústavy, 2. poloha vozidla po zavedení chyby polohy



Obr. 10 Výsledné navzájom posunuté a natočené mapy zjednodušeného priestoru

Avšak, aktuálna poloha zapísaná v riadiacej jednotke vozidla sa nezmenila a je v počiatku súradnicovej sústavy, tak ako pri skenovaní v prvej polohe. Bolo vykonané druhé skenovanie zjednodušeného priestoru v rozsahu -30 až 110 stupňov. Keďže do výpočtu súradníc jednotlivých bodov v globálnom súradnicovom systéme sa premieta aj poloha vozidla pri skenovaní je vykreslená druhá mapa posunutá a natočená voči prvej, obr. 10 červenou farbou. Popisovaná metóda korekcie polohy vozidla má zabezpečiť zmenu polohy vozidla tak, aby poloha vozidla v globálnej sústave (obr. 10) zodpovedala skutočnej polohe vozidla voči objektom (obr. 9-2). Obrysové funkcie  $\tau_1$  a  $\tau_2$  sú zobrazené na obr. 11. Podmienkou pre porovnávanie máp touto metódou je, že dĺžka prvej mapy je väčšia ako dĺžka druhej mapy. Obrysové funkcie na obrázku spĺňajú túto podmienku, keďže prvá mapa má dĺžku  $227 \times$  konštanta delenia 10mm a druhá mapa  $180 \times 10$ mm.



Obr. 11 Obrysové funkcie oboch máp pre porovnávanie

## 2.2. Filtrácia a korekcia dvojdimenzionálnej mapy získanej z laserového skenera

Laboratórne testovanie v priestore s plochými hranami objektov nevyžaduje ďalšiu úpravu dvojdimenzionálnej mapy vykreslenej v súradniciach  $[x, y]$ . So zvyšujúcou sa variabilitou priestoru sa zhoršuje výsledná čitateľnosť dvojdimenzionálnej mapy

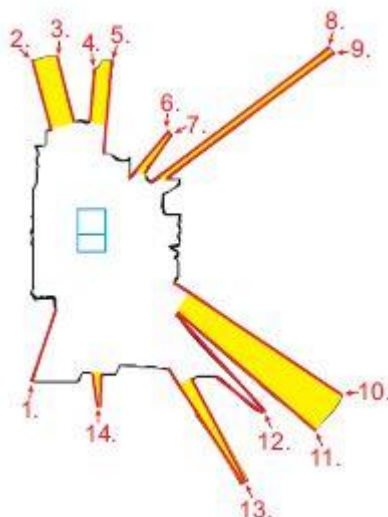
### 2.2.1. Definícia nespojitostí v dvojdimenzionálnej mape

Pre ukážku bolo vykonané pokusné testovanie v kancelárii, v ktorej sa nachádzajú ploché hrany, ale aj variabilné časti s kancelárskymi stoličkami a nábytkom, obr. 12.



Obr. 12 Ukážkový príklad variabilného priestoru kancelárie pre demonštráciu filtrácie mapy

Medzery medzi stoličkami a nábytkom spôsobujú nespojitosti medzi vykreslenými bodmi mapy kancelárie, obr. 4.19. Tieto nespojitosti boli označené červenými úsečkami a očíslované pre ďalšie vysvetlenie. Žltou farbou sú vyznačené miesta nevhodné pre pohyb vozidla z rozmerových dôvodov. Tieto výklenky mapy je potrebné odstrániť filtráciou. Mapa na obr. 13 sa skladá zo samostatných bodov v rovine  $[x, y]$ .

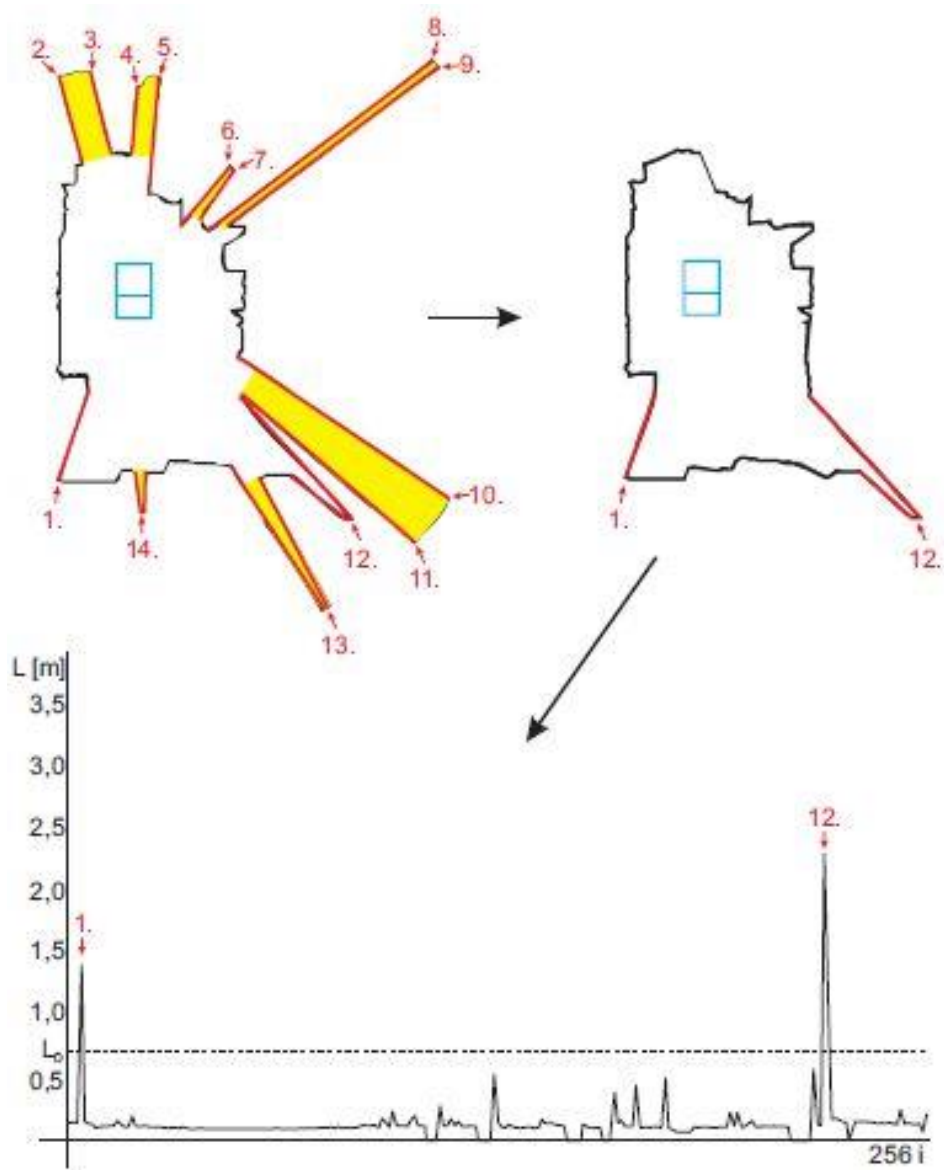


Obr. 13 Dvojdimenzionálna mapa kancelárie bez aplikácie filtra

Algoritmus filtrácie a uzatvárania jednotlivých nespojitostí prebieha v nadradenej riadiacej aplikácii. Po nájdení, vyhodnotení a úprave mapy pre všetky nespojitosti sú odstránené priestory,



nevhodné pre pohyb vozidla. Zároveň sú označené nespojitosti, ktoré nepodliehali úprave. Výsledná mapa po aplikovaní týchto pravidiel je pre porovnanie zobrazená na obr. 14, taktiež je pre porovnanie zobrazený aj priebeh vzdialeností medzi samotnými bodmi mapy.



Obr. 14 Výsledok filtrácie so zobrazením priebehu vzdialeností medzi bodmi upravenej mapy

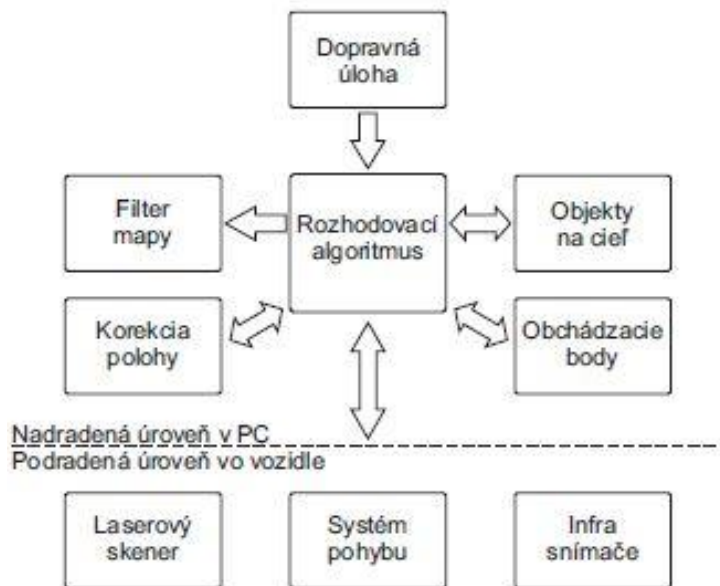
Nespojitosti 1. a 12., ktoré nespĺňali podmienky zostali v mape a taktiež sa prejavili v priebehu dĺžok úsečiek medzi bodmi. Ostatné nespojitosti boli z priebehu odfiltrované. Výpočtová náročnosť spĺňa požiadavky na použitie v praxi.

## 2.3. Kombinovaná behaviorálna a kognitívna metóda pre splnenie dopravnej úlohy

Navrhnutá štruktúra umožňuje aplikáciu behaviorálnej aj kognitívnej metódy pri plnení dopravných úloh. Navrhnuté body trajektóri pre pohyb vozidla v priestore sa nachádzajú v takej vzdialenosti od seba, že vzniká predpoklad dynamickej zmeny priestoru počas presunu medzi jednotlivými bodmi. Použitý laserový skener neumožňuje dostatočne rýchle mapovanie priestoru pre zachytenie dynamických zmien. Z bezpečnostných dôvodov boli do vozidla implementované bezpečnostné snímače s infra technológiou. Tieto snímače je možné využiť ako behaviorálny prvok. Samotné behaviorálne metódy však nie je možné uplatniť z rozmerových a váhových vlastností navrhnutého vozidla. Tieto predpoklady vytvárajú priestor pre kombinovanú metódu behaviorálneho aj kognitívneho prístupu k riadeniu pohybov vozidla v priestore.

### 2.3.1. Štruktúra rozhodovacej úrovne autonómneho riadenia

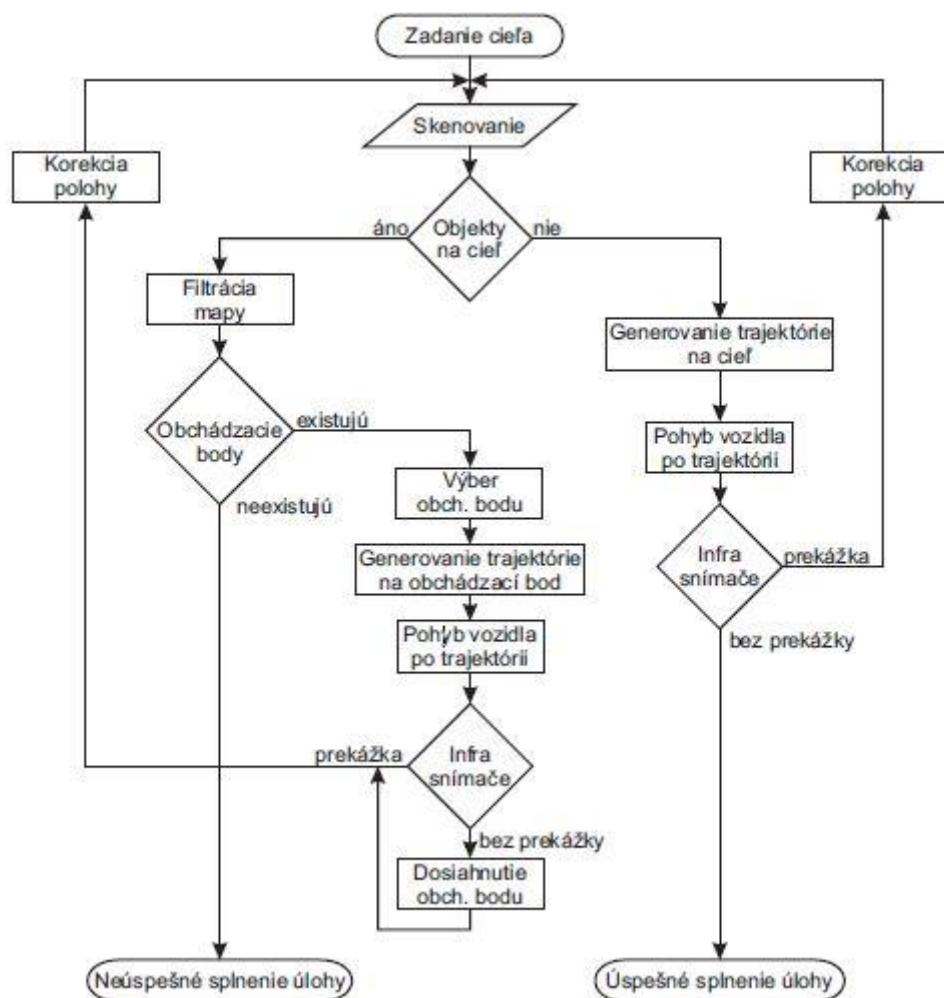
Podradený systém pracuje vo vozidle a prijíma povely z nadradeného systému. Nadradený systém bol vytvorený v osobnom počítači, a preto disponuje dostatočným výpočtovým výkonom pre plnenie aj náročných matematických úloh. Rozhodovacia úroveň obsahuje podsystémy, ako aj podporné podsystémy potrebné pre plnenie dopravných úloh. Štruktúra rozhodovacej úrovne je zobrazená na obr. 15.



Obr. 15 Štruktúra rozhodovacej úrovne autonómneho riadenia

### 2.3.2. Rozhodovací algoritmus

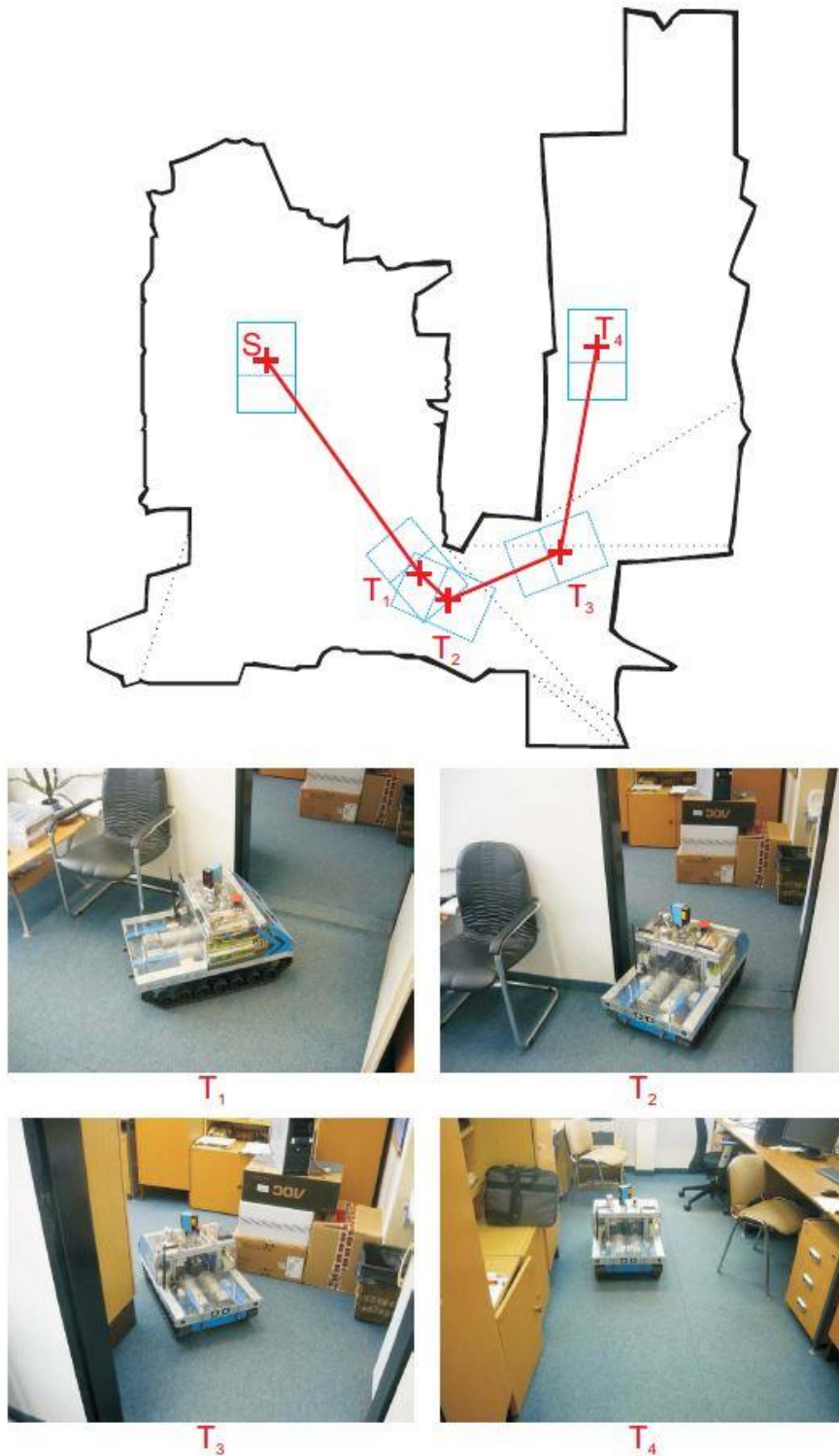
Zadanie dopravnej úlohy vstupuje do rozhodovacieho algoritmu, ktorý predstavuje najvyššiu úroveň riadenia vozidla. Zadanie úlohy môže mať niekoľko foriem, najjednoduchšou formou je zadanie súradníc cieľa pre presun vozidla. Algoritmus rozhodovania je zobrazený na vývojovom diagrame obr. 16. Po zadaní cieľa prebieha prvotné naskenovanie celého priestoru v rozsahu  $-180^\circ$  až  $180^\circ$ . Následne sú vyhľadávané objekty v smere k cieľu. Ak neexistujú prekážky vygeneruje sa trajektória pre pohyb k cieľu. Vozidlo pri pohybe sníma priestor pred sebou infračervenými snímačmi a v prípade zistenia prekážky zastaví, skoriguje svoju polohu a algoritmus začína novým skenovaním priestoru. Ak nenarazí na žiadnu prekážku, dôjde až do cieľa a dopravná úloha je splnená. Takýto prípad je najjednoduchší.



Obr. 16 Vývojový diagram rozhodovacieho algoritmu

### 2.3.3. Experimentálne overenie algoritmu

Tento rozhodovací algoritmus bol aplikovaný na príklade uvedenom v kapitole 2.2.1, kde bol zadaný cieľ vo vedľajšej kancelárii. Výsledná trajektória vozidla je zobrazená na obr. 17.



Obr. 17 Výsledná trajektória vozidla a fotografie v jednotlivých bodoch, pri aplikovaní vývojového diagramu

### 3. Programové vybavenie vizualizačnej aplikácie

Pre tvorbu riadiaceho prostredia pre vozidlo bol zvolený program Control Web 5.

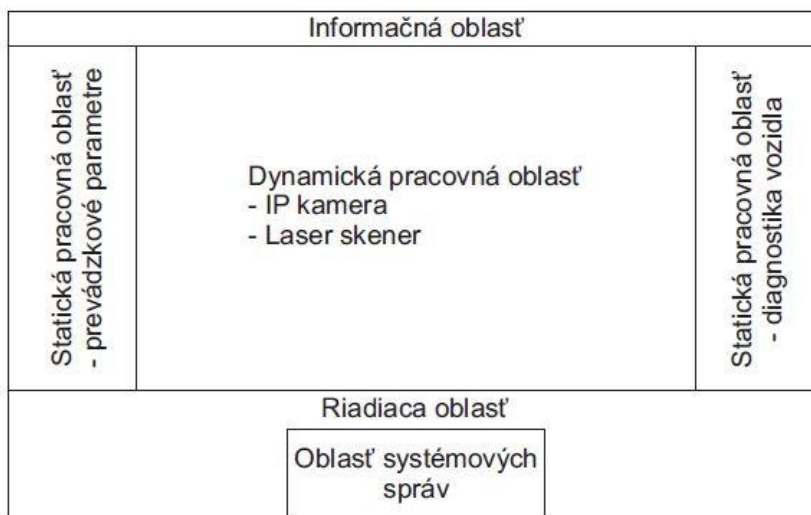
#### 3.1. Komunikácia s riadiacou jednotkou

Pre začlenenie systému Control WEB 5 do komunikačnej siete DB-Net/IP slúži Ovládač DDBNet32. Systém Control WEB 5 využíva pri komunikácii súbory dbnet.par a dbnet.dmf. Tieto súbory definujú komunikačné parametre a kanály komunikácie.

#### 3.2. Ovládacie rozhranie

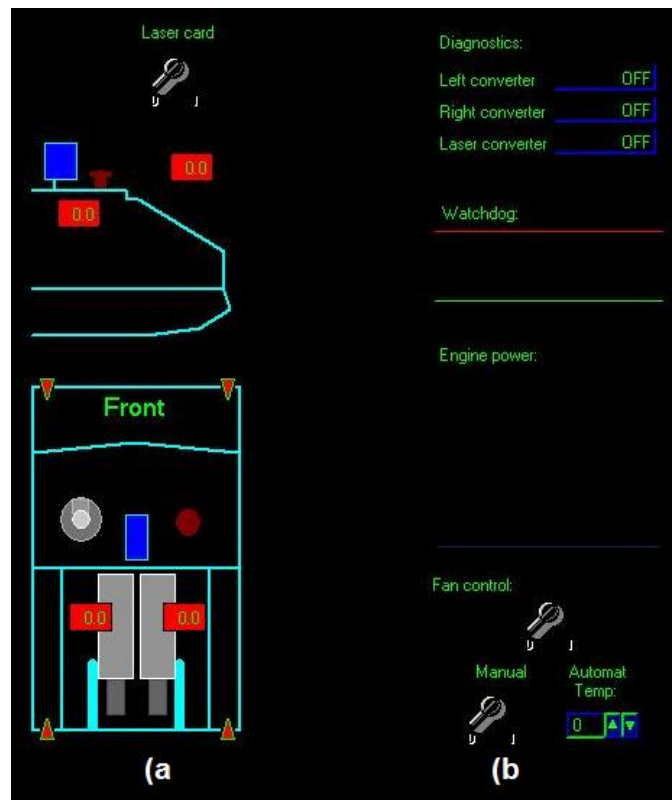
##### 3.2.1. Prístroje ovládacieho rozhrania

Pre ovládanie vozidla je postačujúce jedno okno vizualizácie. Okno vizualizácie bolo rozdelené na niekoľko oblastí podľa obr. 18. Informačná oblasť obsahuje názov rozhrania a názov práve zvolenej karty v pracovnej oblasti. Pracovná oblasť bola rozdelená na tri zóny:



Obr. 18 Rozdelenie ovládacieho rozhrania

- V ľavej zóne Obr.19a sa nachádzajú informácie o prevádzkových parametroch vozidla. Prístroj Draw bol použitý pre vykreslenie obrysov vozidla. Prvky laserový snímač a tlačidlo total stop majú dynamické premenné, ktoré sa menia podľa reálneho stavu. Pri zapnutých snímačoch teploty sa na motoroch zobrazuje ich teplota. Pri zapnutom infra štíte sa zobrazujú aktívne infra snímače, ktoré blokujú pohyb vozidla.
- V pravej zóne bola umiestnená diagnostika vozidla. Sú v nej zobrazené všetky dostupné diagnostické údaje a v prípade chyby je odosielaná správa cez oblasť systémových správ. Taktiež tu bol umiestnený priebeh premennej bezpečnostného nástroja Watchdog. Pre zobrazenie bol použitý prístroj Meter v režime flow graph.



Obr. 19 a) Ľavá zóna b) Pravá zóna

- V strednej zóne sa nachádza dynamická pracovná oblasť. V tejto oblasti môžu byť zobrazené karty IP kamery a Laserového skenera. Zobrazenie kariet nekoliduje, pretože obraz kamery sa používa v manuálnom režime a laserový skener v autonómnom režime. Karta IP kamery je zapínaná pomocou tlačidla v riadiacej oblasti, ktoré ju aj reálne zapína vo vozidle. Karta Laserového skenera sa zapína cez tlačidlo, na ňu opticky naviazané, v riadiacej oblasti. Popis funkcií týchto kariet je v ďalších kapitolách.

Riadiaca oblasť obsahuje ovládacie a zobrazovacie prvky:

1. Ovládanie napät'ových okruhov vozidla tlačidlami.
2. Voľba režimu správy napájania.
3. Odblokovanie po stlačení tlačidla Total stop..
4. Povoľovanie prúdu do motorov.
5. Zobrazovanie prúdu ľavého a pravého motora, rýchlosti v [km/h] a napätia batérie.
6. Zobrazovanie premennej Rýchlosť.
7. Zobrazovanie smeru pohybu vľavo a vpravo.

Oblasť systémových správ obsahuje prístroj Alarm, ktorý má nadefinované alarmy z diagnostiky vozidla a z chybových hlásení prístrojov. Keďže sa jedná o vizualizáciu vozidla, bol zvolený štýl kokpitu s čiernym pozadím a zelenými prístrojmi. Použité boli štyri základné farby. Zelená pre vykresľovanie prístrojov a ich popisov. Modrá pre ovládateľné prvky. Žltá pre upozorňujúce prvky. A červená pre zobrazenie alarmov, nebezpečenstva a zákazov.



Obr. 20 Riadiaca oblasť

### 3.2.2. Časovanie aplikácie

Prístroje vykonávajúce svoju funkciu len pri zmene vstupu boli časované asynchrónne, t.j. prístroje na seba nadväzujú cez parameter receivers. Pre prístroje vykonávajúce svoju funkciu periodicky bolo zadané časovanie podľa tabuľky

Tab. 8 Časovanie prístrojov Control Web 5

Časovanie	Prístroj
0,2s	Zobrazenie aktuálnej rýchlosti
	Zobrazenie blokujúceho infra snímača
	Watchdog
	Zobrazenie smeru pohybu vľavo/vpravo
	Zobrazenie zaradenej rýchlosti
	Podprogramy <code>infrashield</code> , <code>filter_keyboard</code>
	Podprogramy <code>laser</code> , <code>prescan_shift_zoom</code>
	Zobrazenie nastaveného zoomu
	Zobrazenie hodnôt R,x,y pre funkciu SHIFT
	Vykresľovanie mapy
	0,5s
Zobrazenie aktuálneho uhla natočenia skenera	
Zadávanie parametra <code>vacancy</code> pre funkciu DISCONTINUITY	
1,0s	Nákres obrysov vozidla s dynamickými prvkami
	Povolenie prúdu do motorov
	Zapínanie napájacích okruhov
	Nastavovanie módu správy napájania
	Odblokovacie tlačidlo po stlačení total stop
	Zobrazovanie systémových správ
	Zobrazovanie prúdov ľavého/pravého motora
	Meranie napätia batérie
	Zapínanie zobrazenia karty laserového skenera
	Obnovovanie karty laserového skenera
	Zobrazenie počtu naskenovaných bodov
	Podprogram <code>spojenie</code>
3,0s	Zadávanie počiatočného/koncového uhla skenovania
10,0s	Zobrazenie teploty ľavého/pravého motora

### 3.2.3. Manuálne ovládanie vozidla

Ovládanie vozidla v manuálnom režime bolo navrhnuté prostredníctvom PC klávesnice. Radenie rýchlosti v rozsahu  $\pm 30$  stupňov bolo realizované kvázi motor-potenciometrom. Klávesa šípky nahor zvyšuje zaradenú rýchlosť. Klávesa šípky nadol znižuje zaradenú rýchlosť. Klávesy vľavo a vpravo po stlačení udávajú zatáčanie vozidla v závislosti na zaradenej rýchlosti. Klávesa Spacebar bola použitá pre núdzové zníženie rýchlosti na nulu. Plní funkciu akejsi "ručnej brzdy".

## 3.3. Funkcie pre prácu s laserovým skenerom

### 3.3.1. Skenovanie

Skenovanie je základná funkcia laserového skenera. Skener môže pracovať v manuálnom, alebo automatickom režime. Manuálny režim vyžaduje ručné zadanie uhla a štartu skenovania. Automatické skenovanie nie je predmetom tejto práce, ale pre nasadenie niektorej navigačnej teórie sú vytvorené podmienky pre skenovanie vyžadanej oblasti priestoru. Ovládanie skenera je v dvoch krokoch. Prvým je zadanie požadovaného počiatočného a koncového uhla a druhým je potvrdenie začiatku skenovania. Zadávanie uhlov je možné v rozsahu  $-180^\circ \dots +179^\circ$  pre počiatočný uhol skenovania a  $-179^\circ \dots +180^\circ$  pre koncový uhol skenovania. Štart skenovania sa potvrdzuje tlačidlom SCAN. Bežná prevádzka vozidla si nevyžaduje zadávanie počiatočného a koncového uhla v presnosti na jeden stupeň a preto boli vytvorené skenovacie Prescan módy. Hlavný mód skenuje celý priestor, teda uhol  $360^\circ$ . Ďalšie módy sú po uhloch  $90^\circ$  rozdelené na ľavý, ľavý predný, predný, pravý predný a pravý. Skenovanie priestoru za vozidlom je algoritmickejšie, keďže skener sa nemôže voľne otáčať okolo osi. Z praktického hľadiska takéto skenovanie ani nie je potrebné a preto nebol vytvorený mód pre skenovanie za vozidlom. Parameter Step umožňuje reguláciu hrubosti skenovania, teda uhla ktorý bude vynechaný medzi jednotlivými vzorkami. Základný krok je nastavený na jednotku, čo je  $0,72^\circ$ . Maximálny krok je  $2,16^\circ$ . Obmedzenie kroku na 3 je z dôvodu menšieho záberového momentu krokového motora pri presune ako je moment zotrvačnosti celej sústavy. Riadiaca jednotka počas skenovania zapisuje vzorky do matice na ktorú je naviazaných 510 komunikačných kanálov so začiatkom na 04088 kanále. Po doskovaní riadiaca jednotka zapíše príznakový bit a matica je prenášaná do aplikácie Control WEB 5.



### 3.3.2. Vytváranie mapy priestoru

Vytváranie mapy priestoru prebieha v podprograme Laser. Pred vykreslením mapy je zadefinovaný stred vozidla ako bod [0,0] globálneho priestoru. Naskenovaná matica je rozmeru [2,510], avšak Control WEB nepozná viac ako jednorozmerné vektory. Preto prvým krokom je transformácia matice na jednorozmerný vektor vo forme  $[x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_{510}, y_{510}]$ . Premenné X obsahujú uhol natočenia skenera pri skenovaní vzorky a premenné Y obsahujú vzdialenosť naskenovanú v tomto uhle. Prepočet z uhlov a vzdialeností na súradnice X v globálnom priestore je podľa vzťahu:

$$Draw[(L_j + 1)] = -(L_{items}[(L_i + 5510)] * \cos((L_{items}[(L_i + 5000)] / 57.29577951))$$

A prepočet súradníc Y podľa vzťahu:

$$Draw[(L_j)] = L_{items}[(L_i + 5510)] * \sin((L_{items}[(L_i + 5000)] / 57.29577951)$$

Naskenované uhly sú v stupňoch a preto sú pri výpočte prerátavané na radiány. Vykresľovanie výslednej mapy je po prepísaní súradníc vykresľovanej krivky novými hodnotami. Každý naskenovaný bod je jeden bod tejto krivky. Body sú spojené úsečkami. Presnosť vykresleného priestoru voči reálnemu priestoru je daná hustotou naskenovaných vzoriek, ktorá je priamoúmerná vzdialenosti objektu od vozidla. Pri nenaskenovanom prvku objektu sa môže stať, že tieto body budú spojené úsečkou a tvar objektu sa vo vykreslenej mape neprejaví.

### 3.3.3. Funkcia MAP ZOOM

Rozmery naskenovaného priestoru sa môžu pohybovať od 1x1m až po 11x11m. Z tohto dôvodu bola vytvorená funkcia zoom. Táto funkcia umožňuje prezeranie detailov priestoru, ale aj celý pohľad na priestor až do rozmeru 6464km. Ovládanie funkcie je formou tlačidiel +, - a 100%. Tlačidlo + znižuje výrez zobrazenia priestoru a tým zviditeľňuje naskenované detaily. Tlačidlo □ má opačnú funkciu. Tlačidlo 100% je pre rýchle vrátenie sa do základného zobrazenia s výrezom 6x6m. Zároveň sa na obrazovke zobrazuje aktuálny zadaný zoom v percentách. Pri zmene zoomu sa musia zmeniť všetky súradnice všetkých prvkov v priestore a preto do každej x-ovej a y-ovej súradnice prvkov bolo pridané násobenie premennou L zoom. Takto je zabezpečené okamžité presúvanie prvkov pri stláčaní ovládacích tlačidiel funkcie zoom.

### 3.3.4. Funkcia MAP SHIFT

Samotná funkcia zoom nemá uplatnenie bez zmeny stredu zobrazeného výrezu mapy, pretože približovanie by bolo možné len na bod [0,0]. Pre doplnenie funkcie zoom bola vytvorená funkcia shift. Táto funkcia umožňuje posúvanie výrezu v priestore a teda zobrazenie požadovaného detailu priestoru v kombinácii s funkciou zoom. Ovládanie funkcie je intuitívne vo všetkých štyroch smeroch. Pre vycentrovanie do prednastavenej polohy bolo pridané tlačidlo Center. Po stlačení niektorého z tlačidiel je aktivovaná časť kódu podprogramu Prescan shift zoom, ktorá zabezpečuje

pripočítavanie/odpočítavanie x-ovej alebo y-ovej súradnice stredú výrezu. Táto súradnica je potom pripočítaná k súradniciam vykreslených prvkov. Prakticky sa nehýbe obraz, ale hýbu sa prvky v ňom, avšak opticky sa užívateľovi zdá, že sa pohybuje po mape. Pre orientáciu kde sa výrez v priestore aktuálne nachádza sú zobrazované údaje v osi X a Y o posunutí. Zároveň je prepočítavaná vzdialenosť do bodu odkiaľ bolo uskutočnené skenovanie, čo umožňuje zistiť, v akej vzdialenosti sa nachádza objekt od stredú vozidla, pokiaľ sa vozidlo po skenovaní nepohlo.

### 3.3.5. Funkcia MAP DISCONTINUITY

Skenovanie z jedného bodu a následné vykresľovanie pomocou spájania naskenovaných bodov úsečkami, má nevýhodu vo vykreslení čiar, ktoré nie sú v priestore fyzicky prítomné. Tieto čiary tvoria presunutia z objektu na objekt, v prípade že skener "nevidí" presný prechod medzi objektami. Napriek tomu je možné vyhľadať tieto nereálne čiary v mape priestoru, pretože dĺžka týchto čiar je obvykle oveľa väčšia ako je dĺžka reálnych čiar opisujúcich objekty. Vyhľadanie týchto bodov nespojitosti v mape je základom pre vytváranie komplexnej mapy priestoru. Táto funkcia je vo vozidle vytvorená pre manuálne použitie, ale je plne funkčná aj pre autonómny režim vozidla. Vyhľadávanie, pre opisovanú aplikáciu, nie je priamo v mape priestoru, ale vo vektore bodov úsečiek. Základný parameter zadávaný z vizualizácie je dĺžka čiary, podľa ktorej bude nespojitosť hľadaná. Vo vizualizácii je to parameter Vacancy. Udáva sa v metroch. Po tomto zadaní sa vyhľadávanie spúšťa tlačidlom Find.

## 3.4. Generovanie trajektórií

Funkcie generovania trajektórií v priestore sú základným prvkom autonómnej navigácie vozidiel. Trajektória je dráha vozidla, po ktorej sa pohybuje z bodu A do bodu B. Navigačná teória generuje túto trajektóriu v interakcii s priestorom tak, aby vozidlo nenarazilo do objektov nachádzajúcich sa medzi bodom A a B. Generovanie trajektórií, pre vozidlo opisované v tejto práci, je v zmysle manuálneho vytvorenia dráhy vozidla. Trajektória môže obsahovať tri prvky. Prvým je priamy pohyb vpred alebo vzad s definovanou rýchlosťou prípadne maximálnym zrýchlením. Druhým je zatáčanie vozidla vľavo alebo vpravo zadávaním polomeru zatáčania, kde kladný polomer vyjadruje zatáčanie vpravo a záporný zatáčanie vľavo. Tretím prvkom je otáčanie vozidla na mieste o zadaný uhol. Vo vozidle bola, pre otáčanie vozidla na mieste, zadaná rýchlosť staticky. Vytváranie trajektórie v mape priestoru je pomocou ovládania umiestneného na karte laserového skenera. Funkcia umožňuje pridať do mapy všetky tri druhy pohybu a takto vytvárať trajektóriu. Začiatkový bod prvého prvku v trajektórii je bod A a teda miesto kde sa momentálne vozidlo nachádza. Koncový bod B je miesto kde sa vozidlo presunie. Po vygenerovaní trajektórie sa jednotlivé parametre prvkov zapíšu do matice, ktorá sa následne prenesie do pamäte riadiacej jednotky a povolujúcim bitom sa začnú vykonávať jednotlivé riadky tejto matice. Po presunutí do bodu B riadiaca jednotka spätne nastaví príznakový bit vykonania procesu presunu po trajektórii. Voľné programovacie prostredie generátora Control WEB 5 umožňuje testovanie rôznych

navigačných teórií a výstupom z týchto algoritmov môže byť vygenerovaná matica trajektórie pre vozidlo.