



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Дамир Бећирбашић

**Контрола кретања умреженог
аутономног возила у односу на друге
учеснике у саобраћају**

МАСТЕР РАД

Нови Сад, 2018.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР :	
Идентификациони број, ИБР :	
Тип документације, ТД :	Монографска документација
Тип записа, ТЗ :	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР :	Завршни (Мастер) рад
Аутор, АУ :	Дамир Бећирбашић
Ментор, МН :	доц. др Жељко Лукач
Наслов рада, НР :	Контрола кретања умреженог аутономног возила у односу на друге учеснике у саобраћају
Језик публикације, ЈП :	Српски / ћирилица
Језик извода, ЈИ :	Српски
Земља публикација, ЗП :	Република Србија
Уже географско подручје, УГП :	Војводина
Година, ГО :	2018
Издавач, ИЗ :	Ауторски репринт
Место и адреса, МА :	Нови Сад; трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО : (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	7/63/9/10/50/0/0
Научна област, НО :	Електротехника и рачунарство
Научна дисциплина, НД :	Рачунарска техника и рачунарске комуникације
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :	Полуаутономна возња, умрежена возила, фузија података, детекција објеката, детекција саобраћајне траке, ADAS
УДК	
Чува се, ЧУ :	У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад
Важна напомена, ВН :	
Извод, ИЗ :	Овај рад доноси побољшања кретања полуаутономних возила њиховим повезивањем путем мреже и разменом података са другим умреженим возилима и инфраструктуром. Приказан је начин на који се возила крећу у зависности од алгоритама детекције саобраћајне траке и детекције објеката. Такође, присутан је концепт контролне станице који омогућава додатну сигурност у целокупном систему. Представљени систем је концепт за напредније повезивање аутономних возила, који ће бити коришћен у комерцијалним решењима.
Датум прихватања теме, ДП :	
Датум одбране, ДО :	
Чланови комисије, КО :	Председник: Доц. др Милан Бјелица
	Члан: Доц. др Милан Лукић
	Члан, ментор: Доц. др Жељко Лукач
	Потпис ментора

	UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES 21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6	
	KEY WORDS DOCUMENTATION	

Accession number, ANO :		
Identification number, INO :		
Document type, DT :		Monographic publication
Type of record, TR :		Textual printed material
Contents code, CC :		Master Thesis
Author, AU :		Damir Becirbasic
Mentor, MN :		Zeljko Lukac, PhD
Title, TI :		Motion control of networked autonomous vehicle in relation to other traffic participants
Language of text, LT :		Serbian
Language of abstract, LA :		Serbian
Country of publication, CP :		Republic of Serbia
Locality of publication, LP :		Vojvodina
Publication year, PY :		2018
Publisher, PB :		Author's reprint
Publication place, PP :		Novi Sad, Dositeja Obradovica sq. 6
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)		7/63/9/10/50/0/0
Scientific field, SF :		Electrical Engineering
Scientific discipline, SD :		Computer Engineering and Computer Communications
Subject/Key words, S/KW :		Semiautonomous driving, networked vehicles, sensor fusion, object detection, lane detection, ADAS
UC		
Holding data, HD :		The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia
Note, N :		
Abstract, AB :		This paper presents an improvement of movement control of a semi-autonomous vehicle using information obtained from network, transmitted from other networked vehicles and infrastructure. The presented manner of vehicles' movement emphasizes the dependency on the algorithms for lane and object detection. Besides, there is a concept of a control station invented to provide additional system safety. The presented system is a concept for more advanced autonomous vehicles connection, which will be used in future within commercial vehicles.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :		
Defended on, DE :		
Defended Board, DB :	President:	Milan Bjelica, PhD
	Member:	Milan Lukic, PhD
	Member, Mentor:	Zeljko Lukac, PhD
		Menthor's sign

Захвалност

Дугујем захвалност ментору др Жељку Лукачу, као и Милени Милошевић, на стручним саветима, помоћи и стрпљењу у току израде овог рада.

Такође се захваљујем својим колегама на несебичној помоћи, успешној сарадњи и квалитетном дружењу у току израде рада.

Посебно захвалност дугујем својој породици, родитељима и сестри, као и остатку породице, а првенствено деди, нани и ани на огромној подршци током мог школовања.

Осим њих, посебну захвалност дугујем и својој девојци, као и свим пријатељима, који су учинили моје школовање лакшим и лепшим.

Захваљујем се и Институту РТ-РК на подршци у току школовања и израде овог рада у виду обезбеђивања потребне опреме и могућности проширивања знања и стицања нових искустава у овој области.

САДРЖАЈ

1. Увод	1
2. Теоријске основе.....	3
2.1 Аутономна вожња	3
2.2 Напредни системи за помоћ возачу	4
2.3 ALPHA платформа.....	6
2.4 Vision SDK – развојно окружење	8
2.5 Zybo плоча	9
2.5.1 PWM – Pulse-Width Modulation.....	10
2.6 Car to X – Умреженост возила са другим учесницима у саобраћају	11
2.7 Детекција објеката – пешака и возила	13
2.8 Детекција саобраћајне траке	15
2.9 Ровер са могућношћу управљања.....	17
3. Концепт решења	19
3.1 Поставка окружења.....	20
3.2 Снимање саобраћаја и детекција саобраћајних трака и објеката у саобраћају	21
3.2.1 Детекција саобраћајних трака и искоришћење података алгоритма за вожњу	21
3.2.2 Детекција објеката у саобраћају.....	24
3.3 Комуникација два возила и дељење информација о детектованим објектима	26
3.4 Контролни механизми заштите управљања возилом	29
3.4.1 Контролна станица – концепт	29
3.4.2 Heart beat – детекција мрежног сигнала	31
3.5 Услови за аутономно кретања возила у приказаном решењу	32
4. Програмско решење	34
4.1 Преглед функционалности система и примена на хардверске платформе	34
4.1.1 Zybo плоча – код за прихват команди	35

4.1.2 Базна станица – преглед по системима на чипу	35
4.1.3 Ровер – преглед по системима на чипу	36
4.2 Портовање алгоритама за детектовање саобраћајних трака и објеката на ALPNA платформи	38
4.3 Слање података о детектованим објектима.....	40
4.3.1 Извлачење података из алгорита	40
4.3.2 Слање преко мреже ка другом возилу.....	42
4.4 Мрежни задатак за слање и примање Heart Beat порука	42
4.5 Мрежни задатак за слање и прихват порука за заустављање возила из базне станице.....	43
4.6 Преглед свих повезивања у систему	44
5. Тестирање и резултати	47
5.1 Тестно окружење.....	47
5.2 Поступак тестирања и тестни случајеви.....	49
5.2.1 Тестирање базне станице	51
5.2.2 Тестирање рада ровера у зависности од рада алгоритама.....	52
5.3 Резултати рада	55
5.3.1 Приказ ситуација у којима ће се повећати безбедност дељењем информација преко мреже	55
5.3.2 Упоредивање резултата добијених радом алгоритама са и без дељења података	57
6. Закључак.....	62
7. Литература.....	63

СПИСАК СЛИКА

Слика 1. Нивои аутономне вожње	4
Слика 2. Пример напредних система за помоћ возачу.....	5
Слика 3. Ток обраде сигнала у ADAS системима.....	5
Слика 4. ALPNA платформа са 3 TDA2x система на чипу.....	6
Слика 5. TDA2x систем на чипу - архитеткура.....	7
Слика 6. Схематски приказ ALPNA платформе	8
Слика 7. Zybo плоча.....	9
Слика 8. Архитектура кола Zynq-7000	10
Слика 9. Примери PWM циклуса за поједине случајеве.....	11
Слика 10. Пример Car 2 X комуникације између возила, семафора и раскрсница	12
Слика 11. Пример помоћи Car to X комуникације за хитне случајеве	13
Слика 12. Пример резултата детекције објеката.....	14
Слика 13. Приказ фаза машинског учења	14
Слика 14. Пример детекције саобраћајне траке.....	15
Слика 15. Приказ напуштања саобраћајне траке и реакција на напуштање: звучно упозорење и упозорење на командној табли	16
Слика 16. Пример детекције ивица	16
Слика 17. Ровер који се користи у практичном делу рада.....	17
Слика 18. Схематски приказ управљања ровером преко Zybo плоче	18
Слика 19. Кретање два возила у две суседне саобраћајне траке.....	19
Слика 20. Приказ целокупног система	20
Слика 21. Случај 1 - Детектована саобраћајна трака	21
Слика 22. Случај 2 - Напуштање саобраћајне траке.....	22
Слика 23. Трапез настао исцртавањем детектоване саобраћајне траке.....	23
Слика 24. Приказ специфичних трапеза и углова који су добијени	23
Слика 25. Детектовани аутомобили и раздаљина до њих.....	25
Слика 26. Детектован пешак и удаљеност до пешака	25

Слика 27. Пример комуникације и дељења информација о детектованом пешаку ради повећавања безбедности саобраћаја	26
Слика 28. Положај ровера 1 и ровера 2 у односу на базну станицу	27
Слика 29. Детектовани објекат од стране ровера 1 који не утиче на кретање ровера 2	27
Слика 30. Приказ када детектовани објекат утиче на кретање оба ровера	28
Слика 31. Илустрација контролне станице	30
Слика 32. Илустрација назива Heart Beat	31
Слика 33. Илустрација „смрти“ конекције између платформе и контролне станице	32
Слика 34. Коришћење ресурса на ALPHA платформи за базну станицу	36
Слика 35. Ресурси на ALPHA плочи на роверу	37
Слика 36. Приказ тока података алгоритма за детекцију објеката (лево) и за детекцију саобраћајне траке (десно)	39
Слика 37. Преглед свих конекција у систему	44
Слика 38. Приказ тестног окружења	48
Слика 39. Приказ тестног окружења – први део	49
Слика 40. Приказ тестног окружења – други део	49
Слика 41. Скретање точкова у благој кривини удесно	52
Слика 42. Приказ детекције пешака на малој близини када се ровер потпуно зауставља	54
Слика 43. Пример непрегледне кривине и пример серпентине	55
Слика 44. Приказ превоја и нарушавања безбедности незаконитим претицањем	56
Слика 45. Пример лоше прегледности на раскрсници	56
Слика 46. Пример одрона на путу и ситуација када из базне станице треба бити наређено заустављање возила	57
Слика 47. Слика која илуструје пример из табеле 7, где је бициклиста иза кривине	59
Слика 48. Ситуација где у две саобраћајне траје један возач стане пешаку а други га не види и не стане	59
Слика 49. Пример непрописног претицања на превоју	60
Слика 50. Возило излази из кривине и наилази на одрон	60

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 1. Неке карактеристике ровера	18
Табела 2. Приказ функционалности сваког од система на чипу ALPHA плоче на роверу	38
Табела 3. Све конекције у систему.....	45
Табела 4. Табеларни приказ основних тестних случајева и начин тестирања	50
Табела 5. Приоритет кретања возила у зависности од детекције алгоритама	54
Табела 6. Пример скретања на раскрсници са и без дељења информација	58
Табела 7. Пример кривине са две саобраћајне траке у истом смеру	58
Табела 8. Пример ситуације са слике 48.....	59
Табела 9. Пример претицања на превоју	60
Табела 10. Пример корисности базне станице у случају одрона на путу	61

СКРАЋЕНИЦЕ

ADAS	- <i>Advanced Driver-Assistance Systems</i> , Напредни системи са помоћ возачу
DSP	- <i>Digital Signal Processor</i> , Дигитални сигнал процесор
EVE	- <i>Embedded Vision Engine</i> , Јединица за обраду видео садржаја ниског нивоа
HD	- <i>High Definition</i> , видео снимак високе резолуције, 1280x720 пиксела
IPC	- <i>Inter Process Communication</i> , Међупроцесорска комуникација
PCIe	- <i>Peripheral Component Interconnect Express</i> , Периферна комуникациона брза веза
PWM	- <i>Pulse-Width Modulation</i> , Импулсно-ширинска модулација
ROI	- <i>Region of Interest</i> , Регион од интереса
RTOS	- <i>Real-Time Operating System</i> , Оперативни систем у реалном времену
SAE	- <i>Society of Automotive Engineers</i> , Организација инжењера у аутомобилској индустрији
SDK	- <i>Software Development Kit</i> - Окружење за развој програмске подршке
SoC	- <i>System-on-Chip</i> , Рачунарски систем у оквиру интегрисаног кола
TCP	- <i>Transmission Control Protocol</i> , Протокол за поуздан пренос података преко мреже
UART	- <i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i> , Универзални серијски примопредајник

UDP	- <i>User Datagram Protocol</i> , Мрежни протокол за слање пакета без потврде пријема
URLLC	- <i>Ultra-reliable Low Latency Communications</i> , Веома поуздана комуникација са малим кашњењем
V2I	- <i>Vehicle to Infrastructure</i> , комуникација возила са инфраструктуром
VSDK	- <i>Vision Software Development Kit</i> – Окружење за развој програма компаније Texas Instruments

1. Увод

Стални напредак цивилизације у великој мери олакшава људски живот, али и ствара потребе за даљим развијањем и усавршавањем постојећих решења. Сваки нови изум не само да ће бити проучаван засебно за себе, већ се из њега грана на хиљаде нових идеја. И већ давно измишљене ствари, као и новонаправљене, теже усавршавању и чекају на то, понекад и више година или векова, све док се не створе услови за напредак. Сјајан пример за то јесте превоз људи, који су од пешачења стигли до невероватних брзина, пробијајући чак и звучни зид у ваздушном саобраћају.

Најчешћи превоз људи везан је за тло, па је отуда и информација да је на планети Земљи 2015. године број аутомобила процењен на чак милијарду и 250 милиона [1]. Како је и простор који је насељен далеко мањи од површине тла планете Земље, јасно је да је у густо насељеним срединама, а посебно великим градовима, број аутомобила знатно концентрисанији од остатка света. У тим срединама, долази до проблема у саобраћају, тако да саобраћај уместо основне сврхе, лакшег превоза људи, постаје чак и место губљења људских живота. Такође, јавља се и гомила других проблема, попут загушења саобраћаја. Претходно наведени случајеви се морају изучавати како би се додатно унапредио саобраћај, али и у циљу спречавања могућности жртава и повећавање сигурности аутомобила.

Будућност друмског саобраћаја се своди на аутоматизацију самог саобраћаја, где ће фактор људске грешке тежити нули. Аутомобили ће бити у стању да „посматрају“ свет око себе, али и да „разговарају“ са другим аутомобилима. Време реаговања између аутомобила мора бити довољно кратко да се реагује на време, а како се управљање возила врши на основу тих информација, мора бити и довољно поуздано.

Као предуслови ових побољшања, потребан је напредак у могућности управљања возила, коришћењу нових мрежних технологија и протокола, као и повећање

процесорске моћи хардверске платформе која се налази у самом возилу, која је и „мозак“ овог система. Поменути предуслови су већ сада на једном задовољавајућем нивоу, и помоћу њих се може показати да је побољшање вожње већ увелико могуће, а временом и наредним напретком доћи ће се до потпуно аутономне вожње, која ће значити већу сигурност у саобраћају, али и већу брзину превоза људи.

Идеја рада је да се на примеру два прототипа аутомобила прикаже како се помоћу алгоритма за детекцију саобраћајне траке и алгоритма за детекцију објеката, као и дељењем информација између два возила може унапредити вожња. Поред овога, биће приказан и модел базне станице, која ће омогућити контролу дељења информација између возила, као и представљати додатан ниво заштите у случају отказивања мреже или у случају отказа неког од алгоритама.

Рад приказује начин на који се може достићи одређени ниво побољшања безбедности саобраћаја комуникацијом са осталим учесницима у саобраћају. Биће објашњено како ће постојати више нивоа заштите учесника у циљу спречавања могућности судара, као и приказ решења и имплементације.

Рад је организиран у 5 целина:

1. Теоријске основе – Описан начин комуникације између више возила, проблем полуаутономне вожње, преглед ALPHA платформе за обраду сигнала, као и теоријска објашњења алгоритама.
2. Концепт решења – Биће приказан модел система, замишљена архитектура система, као анализа шта би донела израда по израђеној архитектури
3. Програмско решење – У овм делу упознаће се са начином имплементације самог решења, појединости везане за конкретан задатак као и проблеми и начин превазилажења истих у поступку израде практичног дела рада
4. Тестирање и резултати – Садржаће начин тестирања одговарајућих функционалности система, биће анализирани конкретни резултати који су добијени израдом практичног дела рада, као и у којој мери решење задатка доприноси побољшању реалне вожње
5. Закључак.

2. Теоријске основе

Поглавље садржи теоријске основе о стварима приказаним у раду. Између осталог, садржаће приказ концепта аутономне вожње, укључујући и историјат доласка до тог степена аутономности, приказ ALPHA платформе на којој се извршавају алгоритми приказани у раду, концепт умрежености возила у саобраћају, укључујући више возила и детаље самог алгоритма коришћеног при детекцији пешака, возила и осталих објеката.

2.1 Аутономна вожња

Развојем аутономне вожње предвиђа се да ће аутомобили у потпуности бити ослобођени људског фактора. Већ се на путевима налазе прва возила која имају виши степен аутономије, и која могу да у одређеним условима управљају самостално. Како би се направила стриктнија подела, SAE International (енг. *Society of Automotive Engineers*) у свом стандарду J3016 [2] је извршио поделу на 6 нивоа аутоматског управљања, од нивоа 0 где нема аутоматског управљања до нивоа 5, потпуно аутономног возила (слика 1).

Од посебног значаја за рад ће бити ниво 2 и ниво 3 аутономне вожње. Остали нивои аутономног управљања нису од суштинског значаја за овај рад, па ће њихово објашњење бити изостављено.

Ниво 2. Делимично аутоматско управљање – Извршавање специфичног начина вожње помоћу једног или више система за управљање, убрзање и успорење коришћењем информација из окружења, са очекивањем да возач обавља остале аспекте вожње

Ниво 3. Условно аутоматско управљање – Извршавање свих аспеката вожње аутоматски, али је и даље неопходно присуство возача, како би реаговао на сваки захтев од стране система управљања

	Скретање и гас/кочење	Праћење саобраћаја	Контрола возила	
нижи нивои аутономије				
0				Без аутономије
1				Најмање један степен за контролу возила
2				2 или више система за контролу возила
виши нивои аутономије				
3				Човек реагује искључиво када возило тражи
4				Возило одлучује о кретању, човек реагујеуколико жели
5				Потпуно аутономна вожња

Слика 1. Нивои аутономне вожње

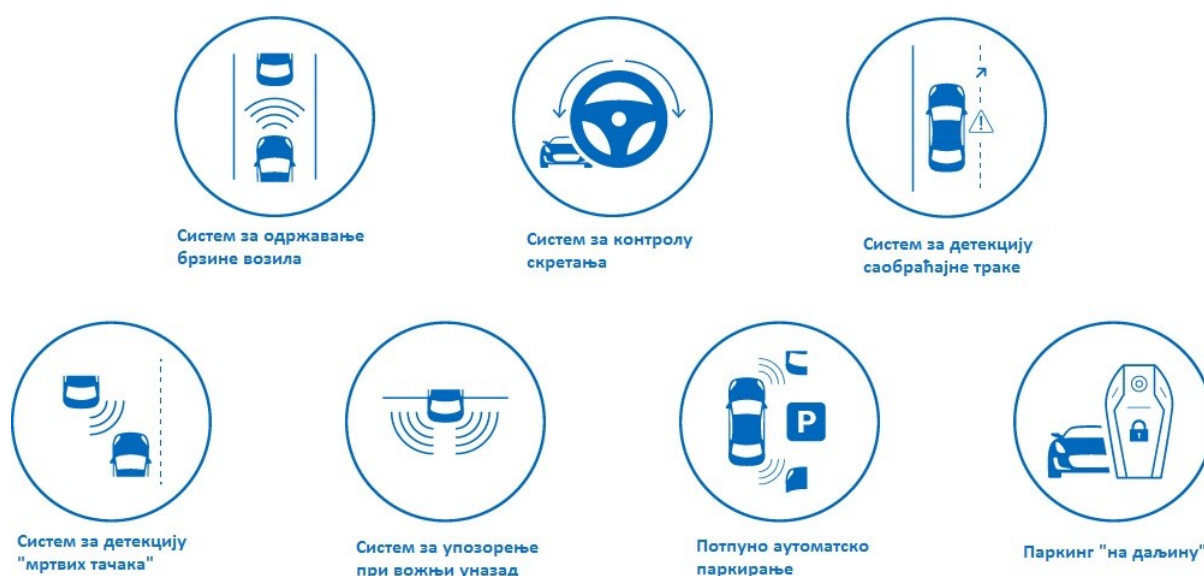
Потребно је објаснити да су нивои 2 и 3 прелазни нивои, наиме, прелази се са нижег на више нивое аутоматског управљања. Прва 3 нивоа подразумевају да возило захтева присуство возача, а да се за управљање самог аутомобила користе и помоћни механизми. Од нивоа 3, следећа 3 нивоа, подразумевају да се вожња одвија аутоматски, али и да је у зависности од нивоа потребан возач у већој или мањој мери.

Аутономна вожња је већ заступљена у возилима која су ушла у комерцијалну употребу, попут компанија „Tesla“ и „Audi“. Ове компаније већ имају аутомобиле 2. и 3. нивоа који се користе у Сједињеним Америчким Државама и у Западној Европи [3]. Најновији модел компаније „Audi“ јесте А8, који има потпуно аутономну вожњу до 60km/h, што је најчешћи случај коришћења у условима градске вожње. План компаније јесте да се већ наредне године брзина за аутономну вожњу знатно повећа, тј. да износи 130km/h.

2.2 Напредни системи за помоћ возачу

Нивои 2 и 3 аутономне вожње, као што је речено у претходном поглављу, подразумевају 2 или више напредних система за помоћ возачу. ADAS – (енг. *Advanced*

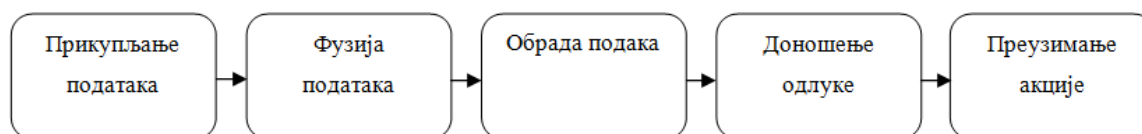
Driver-Assistance Systems) или напредни системи за помоћ возачу су саставни део комерцијалних возила већ неко време, с тим да се комплексност и корисност решења разликују од произвођача до произвођача комерцијалних возила. Постоји јако велики број напредних алгоритама који се користе и који у великој мери олакшавају вожњу. Намена оваквих система јесте разнолика. Поједини системи су значајни при паркирању возила, други при вожњи. Неки од аутономних система су приказани на следећој слици.



Слика 2. Пример напредних система за помоћ возачу

Неки од система који су значајни су детекција линије, детекција пешака, возила и осталих објеката, помоћ при паркирању, надгледање возача или детекција семафора. Ови системи раде на основу сензора који се налазе на самом возилу, попут камера, радара дугог и кратког домета, лидара или ултразвучног сензора.

Изузетно је битно да се сви постојећи сензори користе истовремено и да деле информације које су скупили. То се назива фузија података са сензора, или на енглеском Sensor Fusion. Ово је изузетно битна одлика сваког аутономног возила, и посебна пажња мора бити посвећена проблему фузије података. Ток података са сензора је дат на следећој слици.

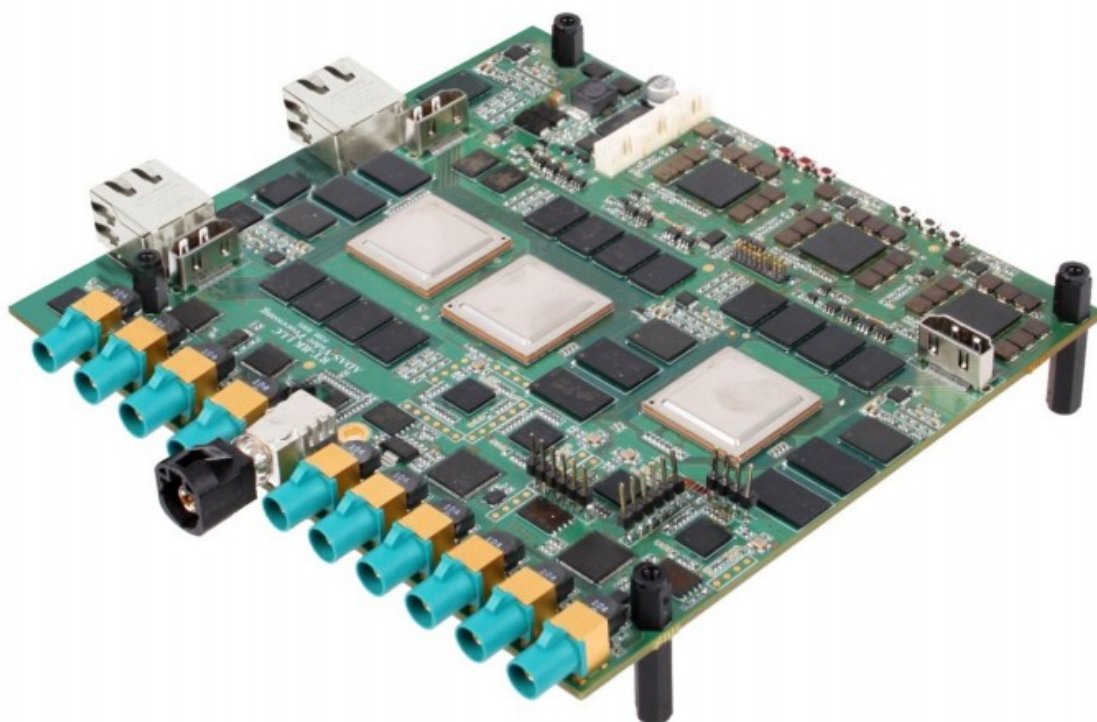


Слика 3. Ток обраде сигнала у ADAS системима

Потребно је пројектовати систем такав да ни у једном тренутку не дође до проблема са преоптерећењем неког од процесора који извршавају обраду са сензора, а друга ствар која је изузетно важна јесте да су подаци синхронизовани, тј. да у једном тренутку имамо тачне информације и нпр. саобраћајне траке и детектованих објеката, што је од пресудног значаја за безбедну вожњу.

2.3 ALPHA платформа

ALPHA платформа (слика 4) је специјализована платформа за аутомобилску индустрију, произведена од стране РТ-РК института. Састоји се из 3 TDA2x [4] система на чипу (енг. *System on Chip* – SoC), компаније Texas Instruments [5].

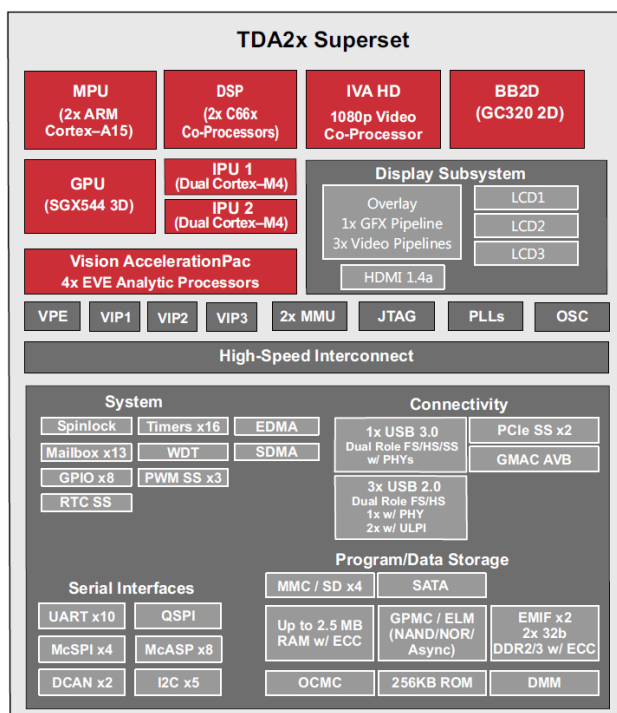


Слика 4. ALPHA платформа са 3 TDA2x система на чипу

Сваки од 3 система на чипу (слика 5) је међусобно повезан Ethernet везом, и састоји се из 2 двојезгарна Cortex M4, 2 процесора ARM Cortex A15, 2 DSP процесора C66x за обраду слике, и 4 векторска процесора EVE [6], која служе за манипулацију над пикселима. Између самих процесора на једном чипу постоји интерне магистрале које омогућују да се међусобно повежу и деле информације сами процесори.

ALPHA платформа се показала као погодна у случајевима вожње другог и трећег нивоа аутономне вожње, при чему се посебан акценат даје раду са подацима са камера. На плочи постоји 10 камера које могу да се поставе на различитим местима у возилу како би се скупило што више података из околине.

Процесори и повезивање на самој плочи дају могућност за обраду више напредних алгоритама за помоћ возачу. Добром расподелом ресурса на плочи могуће је покрити више делова вожње, почевши од стартовања аутомобила, преко вожње, све до паркирања.

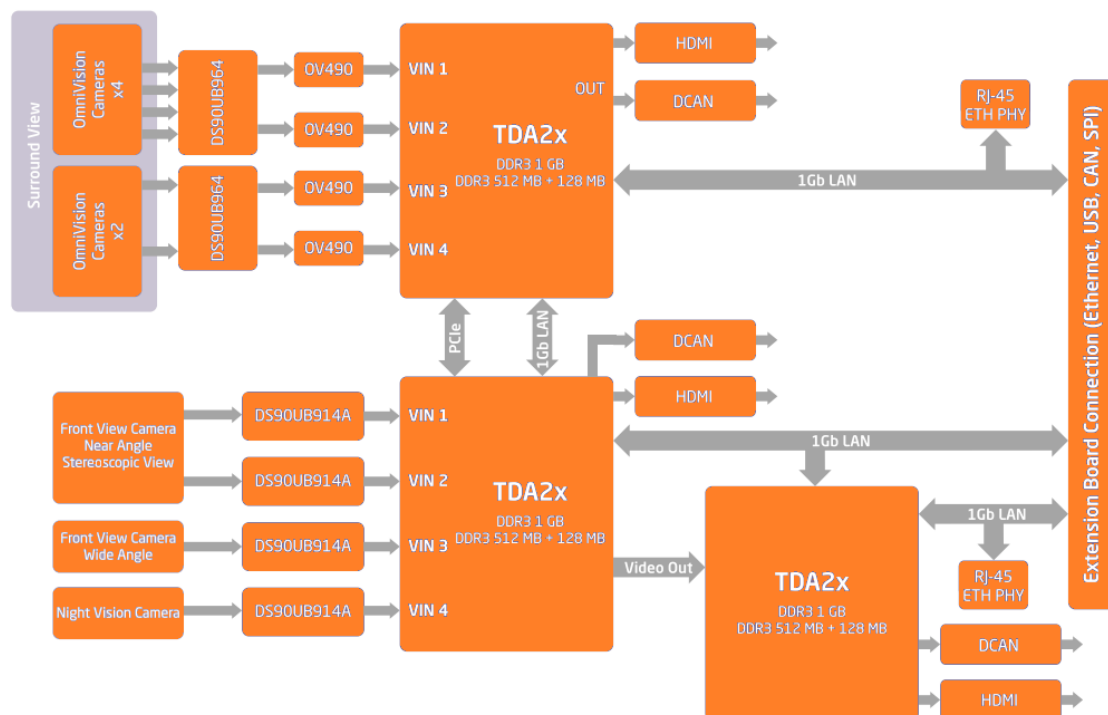


Слика 5. TDA2x систем на чипу - архитеткура

Што се тиче додатних појединости везаних за саме системе на чипу, између прва два процесора постоји PCIe магистрала која се користи за размену података. Ова магистрала је супербрза, са брзинама до 4 Gbps за генерацију 2[7]. Између другог и трећег система на чипу постоји магистрала преко које се може преносити видео у HD (енг. *High Definition* – висока резолуција) резолуцији (1280x720).

Детаљан приказ ALPHA платформе приказан је на наредној слици. Као што се види, приказана је првобитна намена свих 10 камера, које су накачене на следећи начин:

- 6 камера на првом TDA2x чипу:
 - 4 камере – Окружење возила (енг. *Surround view*)
 - 2 камере – Приказ са ретровизора возила
- 4 камере на другом TDA2x чипу:
 - 2 камере за снимање саобраћаја са предње стране возила уског угла
 - 1 камера за снимање саобраћаја са предње стране возила широког угла
 - 1 камера за ноћну вожњу



Слика 6. Схематски приказ ALPHA платформе

2.4 Vision SDK – развојно окружење

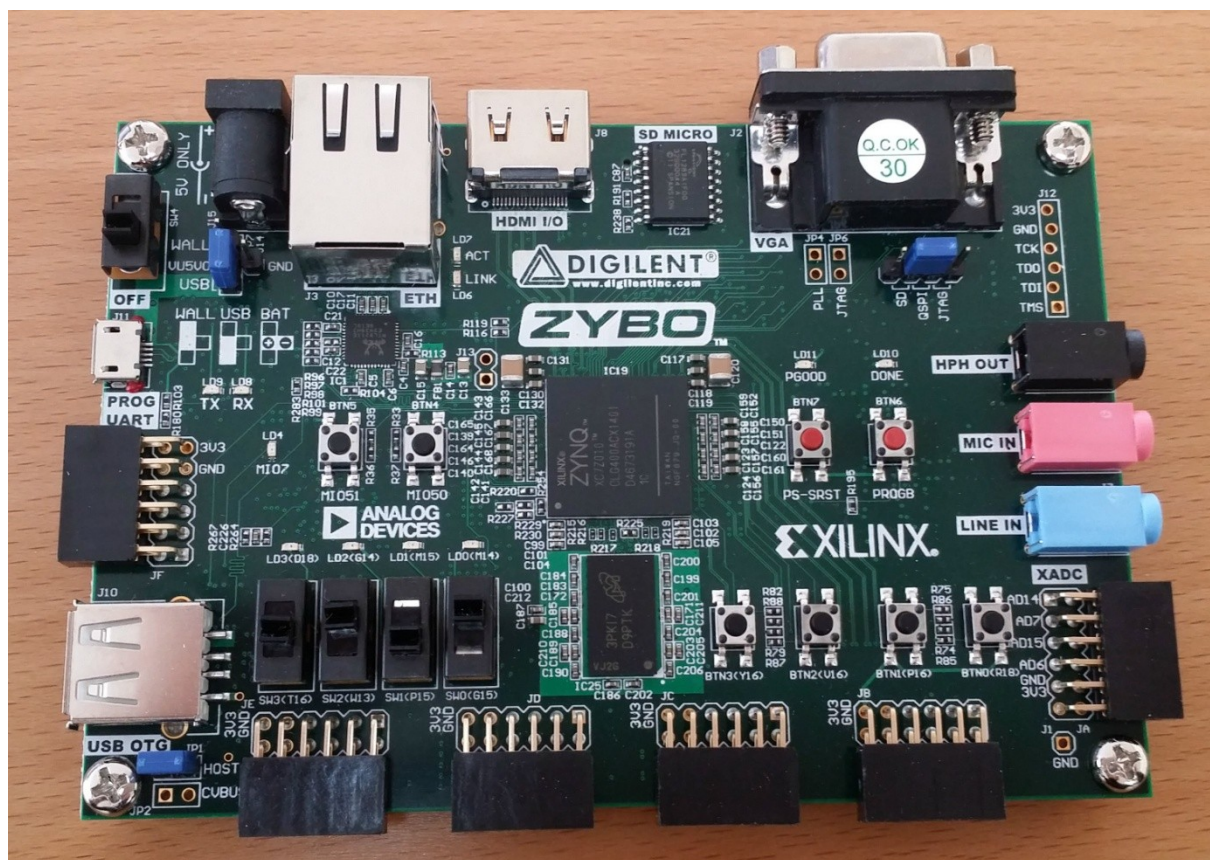
Развојно окружење које се користи јесте *VisionSDK* [8], верзија 02.12.01.01. У оквиру пакета се користи RTOS оперативни систем (енг. *Real Time Operating System*) за рад у реалном времену. Апликације се пишу као случајеви коришћења (енг. *Use cases*), и састављене су од токова података. Генерисање једног случаја коришћења врши се помоћу алата који се назива *UseCase Generator*. Најпре се у текстуалној датотеци напише какав ток података желимо да изгенеришемо, а затим се позове одговарајући алат, који ће подесити одговарајуће датотеке за комуникацију између одговарајућих блокова, као и покретању појединачних блокова. Овим се знатно олакшава програмирање, јер је програмеру скривен ниво повезивања самих компоненти на плочи, али се свакако због рада са плочом очекује разумевање свих блокова који се користе. Осим корисничких случајева, такође је потребно подесити и одговарајуће задатке (енг. *Task*). Њихова улога је да учествују у целокупном систему, без потребе да се праве независни токови података. Тако постоје и мрежни задаци, који могу независно од случајева коришћења генерисати одговарајуће поруке на мрежу, које неко може прихватити другим задатком и на њих одреаговати на одговарајући начин. Осим блокова који су већ изведени у *Vision SDK*, попут *Capture* блока за прихват

снимака са камера, или NullSource блока за прихват видео снимка са мреже, постоје и блокови које корисник сам креира, тј. алгоритамски блокови - *Alg_plugins*. Сваки од ових блокова је већ део Vision SDK, уклапа се у повезивање целог система, тзв. ланце, док се функција за обраду (*process*) оставља кориснику да је сам развије. Оваквом организацијом Vision SDK се веома лако проширује тако да богат скуп већ интегрисаних функционалности може бити додатно сложенији у складу са потребама и могућностима самог инжењера који ради са овим програмским пакетом.

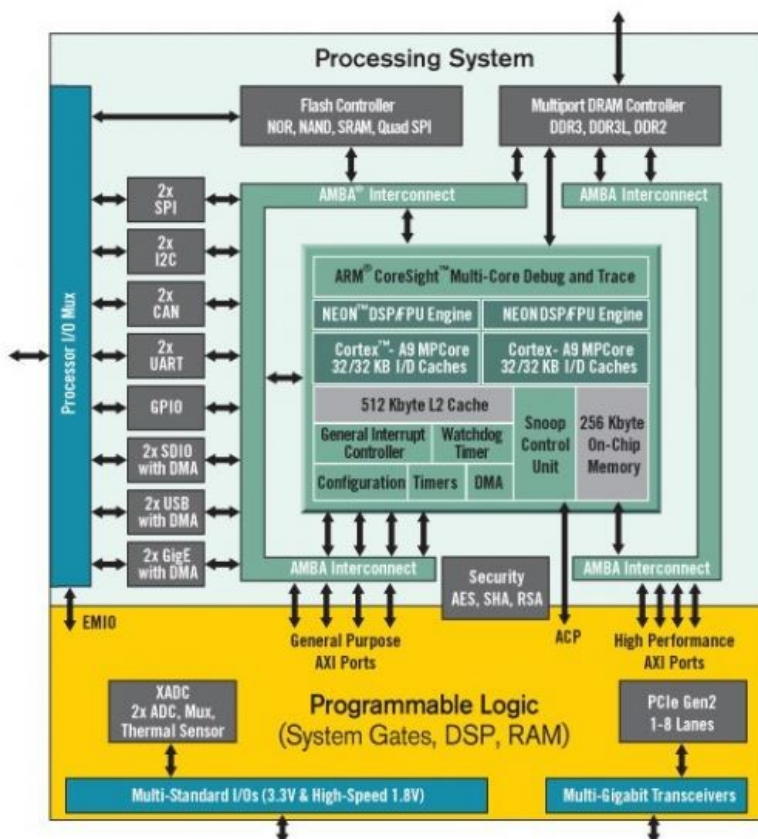
2.5 Zybo плоча

Плоча која служи за само управљање возилом јесте ZYBO плоча. Произвео је Digilent, чија је основа интегрисано коло Zynq-7000, чије су компоненте дате на наредним сликама.

Од значаја за овај рад јесу Ethernet прикључак, преко ког стижу подаци са ALPHA плоче за управљање ровером, као и PWM генератор – (енг. *Pulse-Width Modulation*), односно ширинско-импулсна модулација, помоћу које се покреће мотор ровера (прототипа аутомобила коришћеног у раду), као и серво спрега.



Слика 7. Zybo плоча



Слика 8. Архитектура кола Zynq-7000

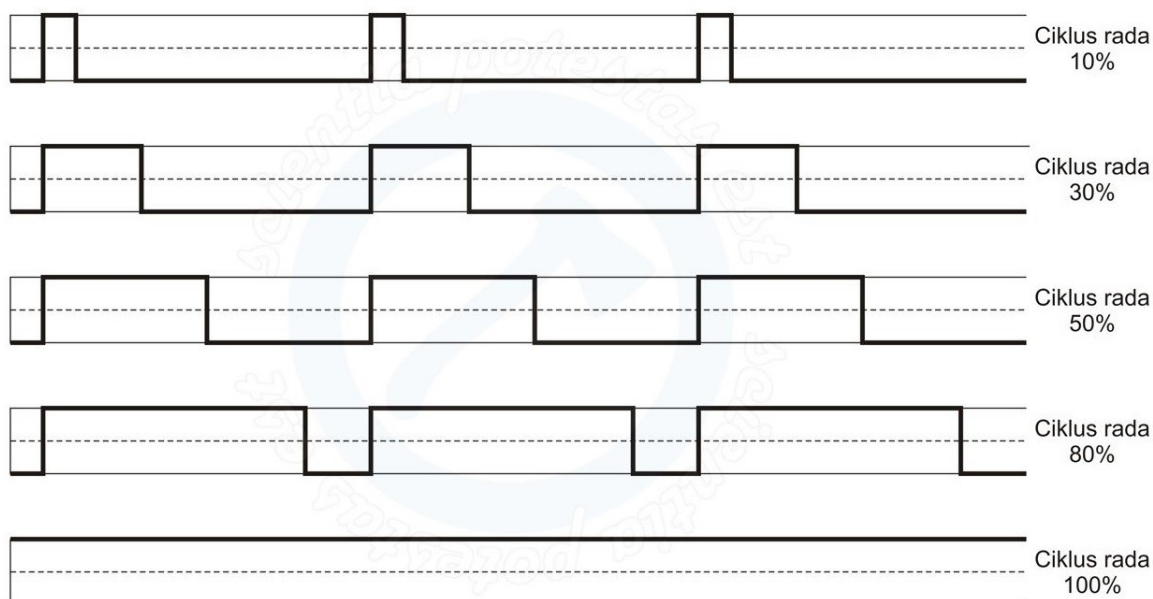
2.5.1 PWM – Pulse-Width Modulation

PWM или ширинско-импулсна модулација јесте техника добијања аналогних вредности помоћу дигиталних импулса константне амплитуде. Сматра се дигиталним сигналом јер је у сваком тренутку времена ниво сигнала или једнак нули или на максимуму.

Честа примена PWM-а јесте у проценту осветљености неке сијалице, где се сијалица постепено пали од угашене до најјачег могућег осветљења.

Важно је разумети да ширина сигнала утиче на целокупан систем, тачније, уколико је сигнал стално на јединици, искоришћење ће бити максимално, док се скраћивањем дужине сигнала генеришу сигнали са мањим процентом од 100%. Дужина сигнала се одређује бројачима који постоје у рачунарском систему (слика 9).

Овај механизам биће коришћен за управљање прототипом возила, тзв. ровером, како управљање брзином, тако и управљање скретањем точкова возила.

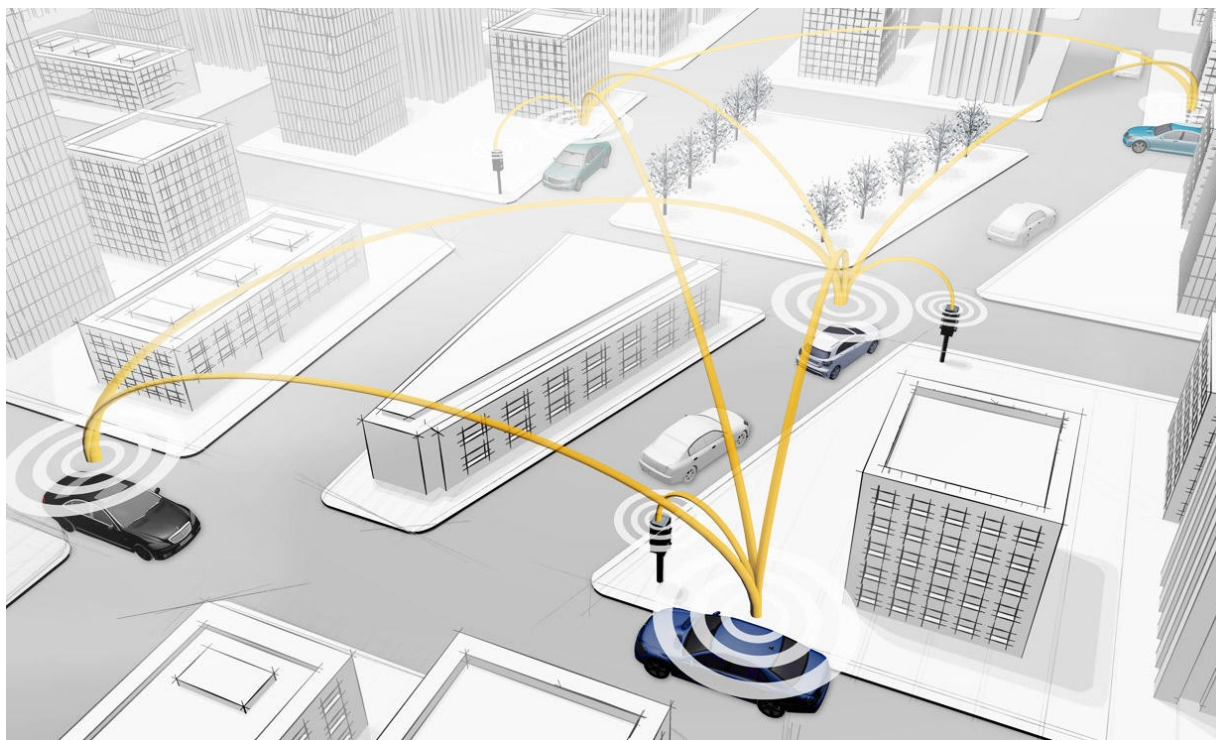


Слика 9. Примери PWM циклуса за поједине случајеве

2.6 Car to X – Умреженост возила са другим учесницима у саобраћају

Док се комплетан саобраћај до сада ослањао искључиво на возача, развојем мрежне технологије проширен је проблем вожње. Више се мрежа не користи само у уређајима у којима се користила првобитно, попут рачунара, већ се тежи да се што више ствари укључи у мрежу. Такав концепт је примењен и у тзв. „паметним кућама“, где се ствари које нису имале везе са мрежом, као фрижидер, шпорет, пегла, бојлер и сл., укључују у мрежу, олакшавајући човеку боравак и живот у кући.

Сличан концепт је осмишљен да се уведе у саобраћај. Циљ је укључити што више елемената саобраћаја у напредне умрежене системе. Не само да ће аутомобили бити међусобно умрежени, већ ће се тежити да се умреже и семафори, раскрснице, саобраћајни знакови, путеви и слично, како би се у сваком тренутку знало да ли је неки пут тренутно блокиран усред радова или је можда на делу пута била саобраћајна незгода па се створила додатна гужва. Све ове информације могу знатно олакшати вожњу, возило ће, за разлику од времена реаговања возача, сада имати информације много пре него што возач може физички видети грешку.



Слика 10. Пример Car 2 X комуникације између возила, семафора и раскрсница

Време опажања у саобраћају код одморног и искусног возача је 1 секунд, тј. од тренутка кад се уочи препрека или пешак, потребан је један секунд да би човек почео са деловањем и покушао да избегне препреку. Код млађих возача као и код старијих и уморних, то време иде чак до 3 секунда. При великим брзинама, наглим искацањем пешака или животиње на пут, ово може довести до фаталних исхода. Како би се ово превазишло, Car 2 X комуникација омогућава да возило буде унапред припремљено на одговарајућу опасност, па се доста раније може јавити упозорење возачу или возилу да се нешто дешава и да је потребно прилагодити брзину или правац кретања возила на основу тих информација. Дакле, не само да ће се искористити време од једне секунде које је до сада ишло само на опажање, већ ће се и пар секунди раније моћи почети са кочењем, при чему су шансе за незгоде далеко мање.

Car 2 X је заправо скуп више система умрежености возила, које обухвата повезаност више аутомобила, повезаност аутомобила и инфраструктуре (семафора, раскрсница и сл.), возила и учесника у саобраћају и возила и мрежног облака (енг. *Cloud*).



Слика 11. Пример помоћи Car to X комуникације за хитне случајеве

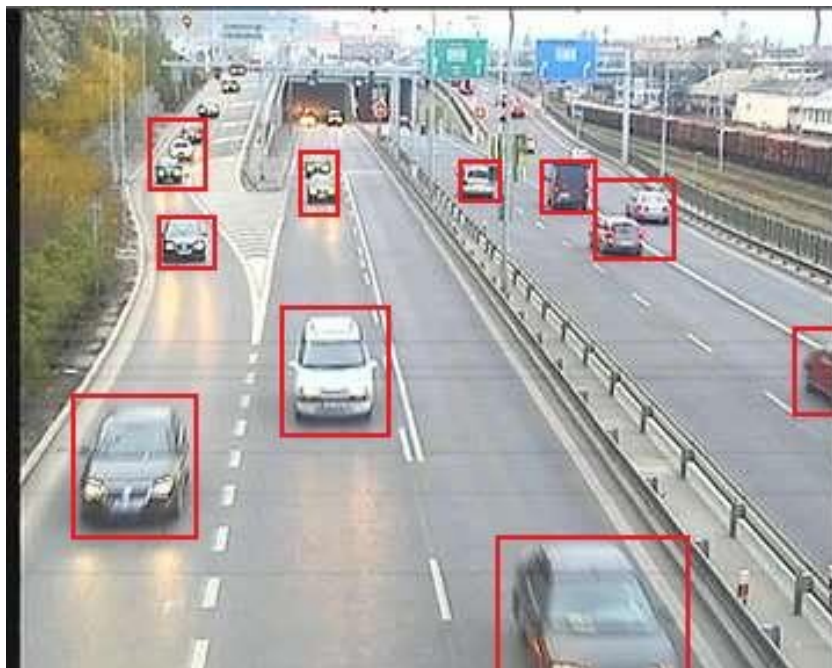
Док се не дође до потпуно аутономне вожње, за почетак ће се користити вожња са надгледањем, било самог возача возила или из неке удаљене централе. Удаљена централа ће моћи да даје одговарајуће команде свим возилима у саобраћају, а информације може добијати путем камера са аутомобила, затим преко стања конекције у случају прекида везе или на неки потпуно трећи начин који ће предупредити саобраћајне незгоде и несреће.

2.7 Детекција објеката – пешака и возила

Један од алгоритама који су део ADAS-а јесте алгоритам детекције објеката. Постоје различити алгоритми који у зависности од жељених резултата могу препознавати пешаке, бицикле, мотоцикле, аутомобиле, аутобусе и теретна возила, али и неке друге ствари попут животиња, објеката који се налазе на путу (нпр. грана, стена), али и детекцију саобраћајних знакова, па чак и детекцију семафора. Неки од ових алгоритама могу бити посебно развијани, па ће нпр. детекција саобраћајних знакова бити део целокупног система, али независно од детекције пешака. Слично је и за семафоре или детекцију задњих светала на аутомобилу, где се алгоритам обучава и прилагођава другачијем типу објеката који се детектују.

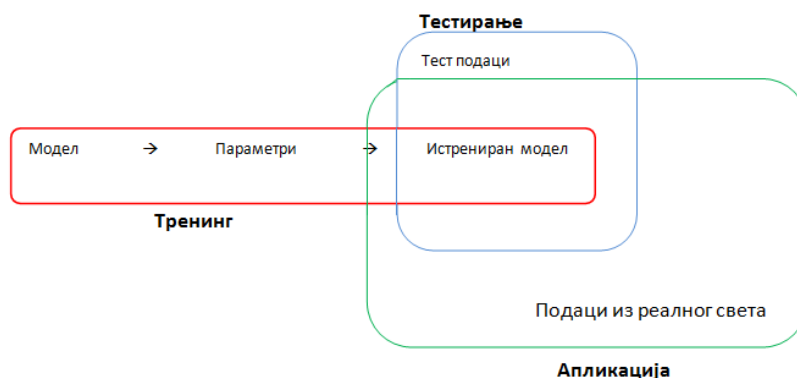
Резултат извршавања детекције објеката може такође бити разнолик. Подаци који се могу добити зависе од сложености алгоритма, па тако имамо једноставније алгоритме (пример: слика 12) који само уоквире детектоване објекте без икакве додатне информације, затим алгоритме са информацијама о проценту сигурности детектованог

објекта али и напредније алгоритме са информацијама о даљини објекта, величини објекта и слично.



Слика 12. Пример резултата детекције објеката

Детекција објеката се заснива на неуронским мрежама које се обучавају на машинама са великом процесорском моћи, и резултати тих обучених неуронских мрежа јесте заправо детекција самих објеката. Како би се могла истренирати нека мрежа, неопходно је постојање тестних случајева, који се прихватају помоћу такозваних гребера (енг. *Grabber* – „хватач снимака“). Из реалних ситуација у саобраћају узимају се снимци, тако да се развој алгоритама које раде велике компаније заснива управо на тим подацима. Када се мрежа обучи довољно, потребно је проверити је на новим снимцима, који су исто снимљени, али нису коришћени у обучавању мрежа (слика 13). Тек када је мрежа одговарајуће испројектована и резултат који се добија добар на тестним подацима, алгоритам је могуће користити у реалним ситуацијама.



Слика 13. Приказ фаза машинског учења

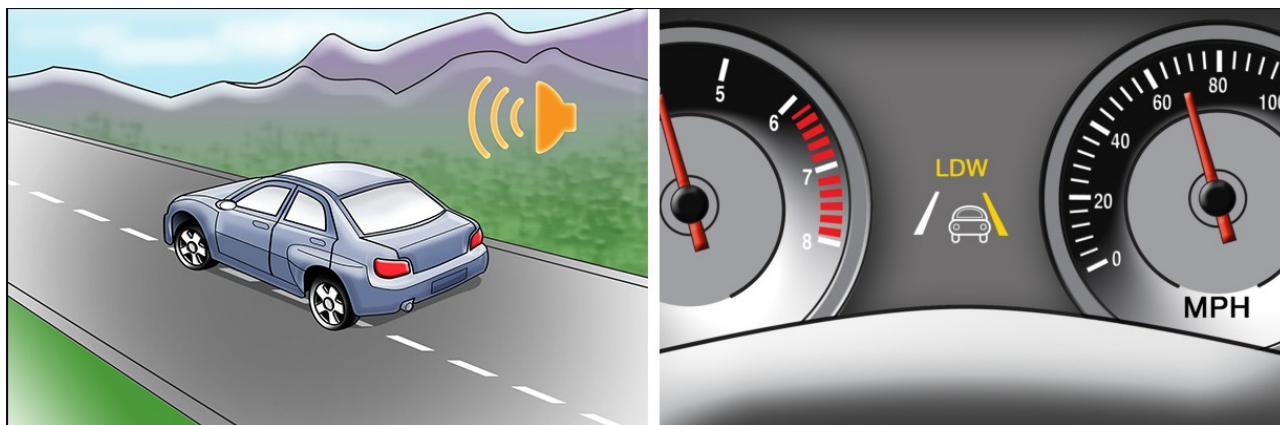
2.8 Детекција саобраћајне траке

Детекција саобраћајне траке је изузетно користан алгоритам за вожњу. Омогућава возачу да лакше прати саобраћајну траку, а напреднији модели кретања аутомобила могу чак да користе податке добијене од алгоритма како би омогућили одржавање аутомобила у саобраћајној траци.



Слика 14. Пример детекције саобраћајне траке

Механизам праћења саобраћајне траке јако је користан у више ситуација. Једна од основних ситуација јесте само кретање аутомобила, детекција постојања кривине при смањеној видљивости. Неки алгоритми имају могућност да генеришу упозорења при напуштању саобраћајне траке, док неки алгоритми могу да задрже возило уколико примете да је возач заспао током вожње како би спасили живот учесника у саобраћају. Уз ове податке које генерише алгоритам, могуће је изгенерисати не само поруку упозорења, већ и друге акције, нпр. дрмање седишта да би се возач разбудео и упозорио, додатни звучни сигнали и слично. Алгоритам који се често комбинује са детекцијом саобраћајне траке јесте детекција слободног простора, или на енглеском *Free Space Detection*. Овај алгоритам је у стању да на основу осталих објеката да упозорење возачу да не сме да се приближи возилу испред себе, или да ако је не самом коловозу присутан неки материјал такође упозори возача на то.



Слика 15. Приказ напуштања саобраћајне траке и реакција на напуштање: звучно упозорење и упозорење на командној табли

Сам математички алгоритам се заснива на детекцији ивице, или на енглеском *Edge Detection*. Пошто је саобраћајна трака означена пуном или испрекиданом линијом са обе стране, препознавање белих или жутих линија једнозначно ће одредити начин кретања возила. Препознавање ових линија реализује се помоћу филтара на нивоу слике, од којих су најчешће коришћени Sobel алгоритам и Canny алгоритам.



Слика 16. Пример детекције ивица

Као што је видљиво на претходној слици, тачке где су ивице имају вредност 1, док остале тачке имају вредност 0. Основна идеја је коришћење градијента (првог извода) за меру да ли нека тачка припада ивици или не. У том концепту, први извод по X оси представља меру за вертикалну ивицу, а по Y оси за хоризонталну ивицу.[9]

Градијенти за вертикалну ивицу (аналогно и за хоризонталну ивицу) у свакој тачки се дефинише као:

$$G_v(v, h) = \sum_{n=-1}^1 \sum_{k=-1}^1 h_v(n, k) \cdot x(v + n, h + k)$$

Оператор h_v (аналогно за h_h) је у случају Sobel оператора имати следећу вредност:

$$h_v(v, h) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

За детекцију ивица у било ком правцу користи се Еуклидска мера градијента као глобални градијент:

$$G(v, h) = \sqrt{G_x^2(v, h) + G_y^2(v, h)}$$

Уколико су вредности улазне слике леже у опсегу од 0 до 1, вредности градијената су од -1 до 1, што значи да су вредности глобалног градијента између 0 и $\sqrt{2}$. На крају, бинарни глобални градијент се користи као индикатор се користи да ли тачка (v, h) припада ивици:

$$G(v, h) = \begin{cases} 0, & G(v, h) < Th \\ 1, & G(v, h) \geq Th \end{cases}$$

Вредност Th се назива праг одлучивања, и на тај начин се може оптимизовати детекција ивица, тј. одлучити колики је контраст довољан да нешто „постане“ ивица или не.

2.9 Ровер са могућношћу управљања

Као прототип аутомобила користи се ровер компаније Тес-rotors, назван ТЕС Cam Rover.



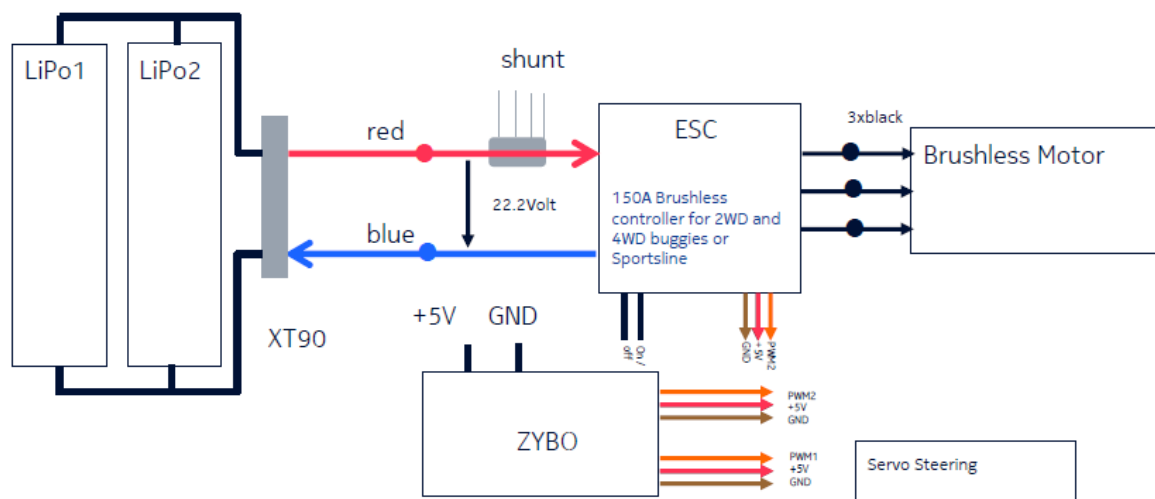
Слика 17. Ровер који се користи у практичном делу рада

Неке од карактеристика ровера приказане су у следећој табели.

Тежина ровера	11 kg
Додатни терет	Макс. 1,5 kg
Максимално време рада*	40 минута
Батерија	4-6S Lithium-Polymere
Дужина	700mm
Размак између точкова	500mm
Брзина	До 50km/h
*са капацитетом батерија приказаним у табели	

Табела 1. Неке карактеристике ровера

Схематски приказ управљања ровером приказан је на наредној слици:



Слика 18. Схематски приказ управљања ровером преко Zybo плоче

3. Концепт решења

Основни циљ рада јесте да прикаже како се одвија контрола кретања умрежених возила и прикаже све бољитке концепта аутономних и умрежених возила у односу на вожњу која се примењује. Рад приказује један систем за контролу кретања два умрежена возила која се крећу у предефинисаним условима, која су додатно исконтролисана базном станицом.

Управљање ровером се врши помоћу Zybo платформе, а контрола Zybo платформе као и одговарајући алгоритми се извршавају на ALPHA платформи. Базна станица такође је емулирана ALPHA платформом.

Идеја је да се у две саобраћајне траке крећу два возила, и да сваки од та два возила прати своју саобраћајну траку коришћењем алгоритма за детекцију саобраћајне траке, детектује препреке на путу, реагује на њих и јавља информације другом роверу ради бољег и сигурнијег кретања, као што је илустровано наредном сликом.

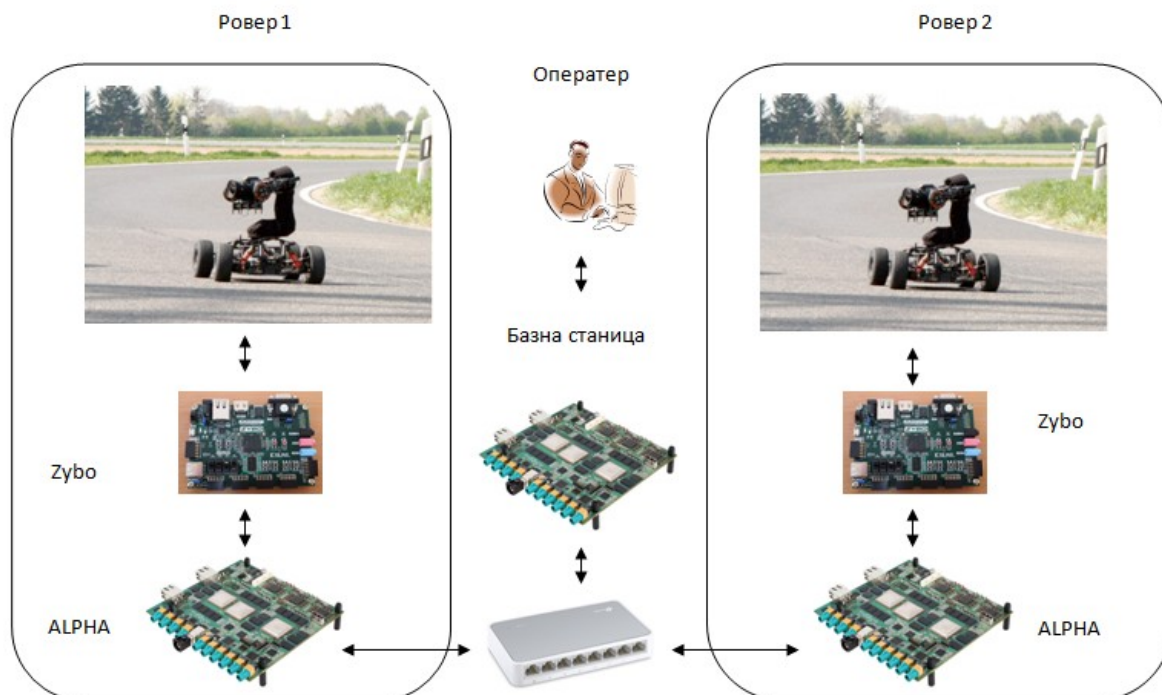


Слика 19. Кретање два возила у две суседне саобраћајне траке

Уколико би једном од возила било онемогућено да види препреку, друго возило би требало да му дојави и упозори га, а да то возило реагује у складу са добијеном информацијом. Базна станица представља начин да се одржи сигурност у случајевима нестанка мреже или процене оператора да је боље да се возило заустави.

3.1 Поставка окружења

У нашој поставци, користе се 3 ALPHA плоче и два ровера. На следећој слици је приказан систем:



Слика 20. Приказ целокупног система

Као што је приказано на слици, једно возило се састоји од следећег:

- Ровер са могућношћу управљања
- Zybo плоча
- ALPHA плоча са две камере

Базна станица подразумева једну ALPHA плочу која посредством UART-а комуницира са оператором у базној станици. Међусобно повезивање ALPHA плоча у развојном окружењу је преко мрежног комутатора (енг. *Switch*). Користи се Ethernet веза, тачније, ровери се налазе на постољу и повезани су међусобно Ethernet кабловима. Померање тачкова (скретање) се на основу алгоритма види на роверу, као и смањивање и додавање гаса.

3.2 Снимање саобраћаја и детекција саобраћајних трака и објеката у саобраћају

Као што је већ објашњено, ALPHA плоча има подршку за до 10 камера које могу да снимају околину истовремено. Могуће је направити различите комбинације и искористити тих 10 камера у различите сврхе. Потребно је подсетити да се 6 камера везује за један систем на чипу, а преостале 4 за други систем на чипу.

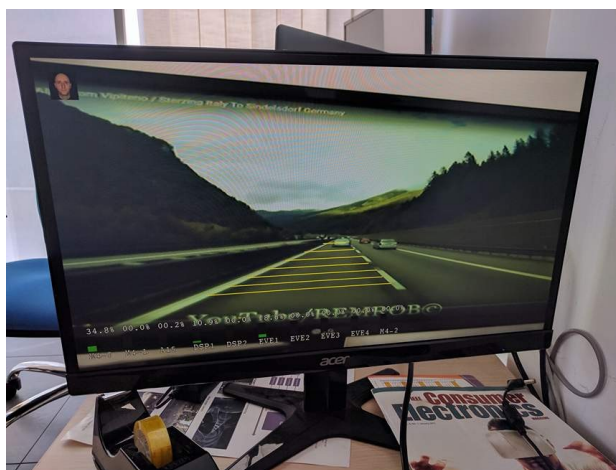
У коришћеном окружењу користе се две камере, једна која је повезана на први систем на чипу, такозвани SCV чип, и друга која је повезана на други систем на чипу, тзв. FFN. Подаци са камере повезане на SCV чип ће се користити у алгоритму за детекцију објеката, док ће FFN чип бити коришћен за детекцију линије. Намена трећег чипа на плочи биће нешто касније објашњена.

За ова два алгоритма су изабрани посебни системи на чипу како би системи били и логички и физички раздвојени, али и због тога што је битно да обрада података буде брза. Тако ће сваки алгоритам имати на располагању све процесоре на једном систему на чипу, док би при случају обраде на само једном систему на чипу ресурси морали бити дељени.

3.2.1 Детекција саобраћајних трака и искоришћење података алгоритма за вожњу

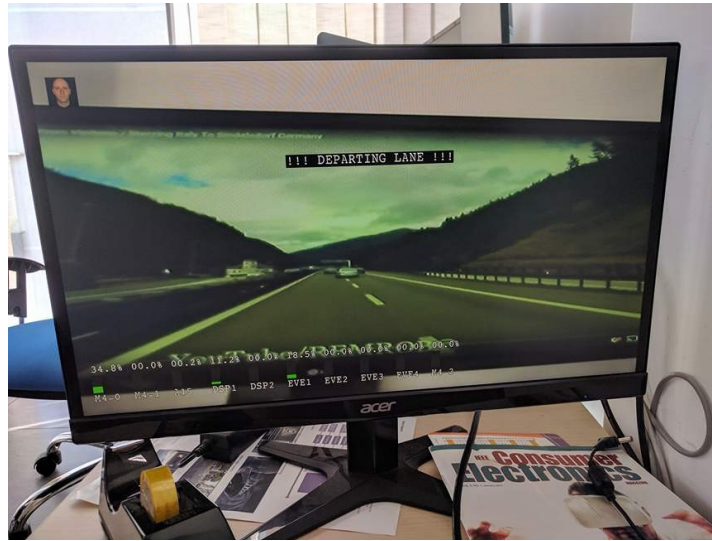
Алгоритам за детекцију саобраћајних трака који се користи у раду јесте алгоритам који се извршава у реалном времену на коришћеној ALPHA платформи. Резултат детекције алгоритма може бити једно од три стања:

1. Детектована трака и возило је у траци – исцртавају се водоравне жуте линије у оквиру детектоване траке (слика 21)



Слика 21. Случај 1 - Детектована саобраћајна трака

2. Детектована трака, али возило излази из граница детектоване траке – генерише се одговарајућа порука на екрану, испис (енг.) „*Departing lane!*“, односно на српском – “Напуштање траке!” (слика 22)

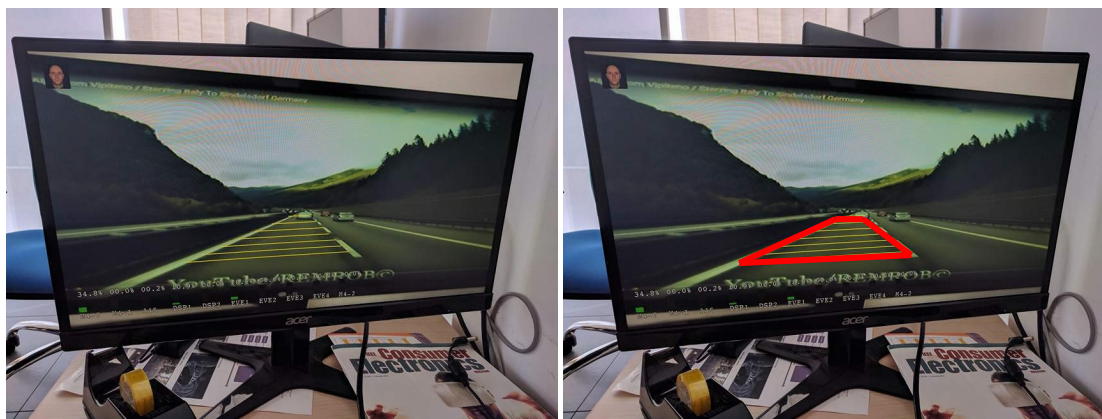


Слика 22. Случај 2 - Напуштање саобраћајне траке

3. Није детектована трака – Ово се дешава у ситуацијама када пут није довољно јасно обележен или када се улази у оштру кривину, па детектована линија излази из тзв. Интересног региона (енг. *Region Of Interest* – ROI). Регион интереса јесте регион у слици на ком се врши детекција линије, и он је подложен прилагођавању. Ради бољег коришћења ресурса, не користи се цела слика за детекцију, већ само њен део, чиме се значајно ослобађају процесорски ресурси.

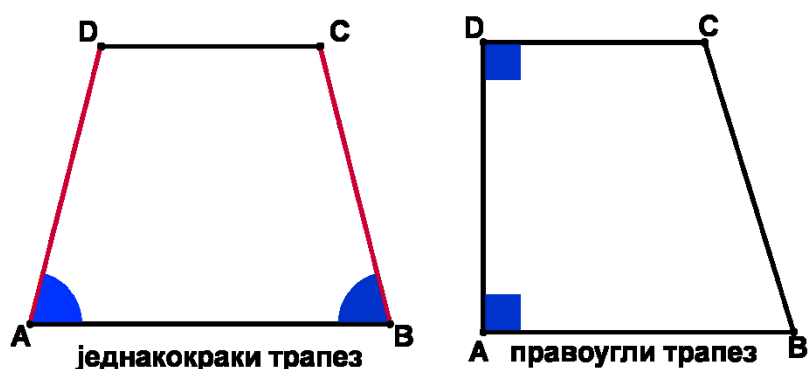
Сваки од датих стања јесте исправно стање, чак и стање 3 где нема исцртане линије. При изласку из оштре кривине алгоритам ће наставити да детектује траку. Проблеми са трећим случајем су избегнути поставком проблема, јер се у почетном проблему избегавају ситуације које су недефинисане попут лоше обележености саобраћајних трака, тј. постоји контролисано тестно окружење, а други проблем са (не)детекцијом у оштрим кривинама се решава самим алгоритмом кретања, који ће бити објашњен.

Главни случај за наш рад јесте случај број 1. То је стање у ком се детектују и исцртавају хоризонталне линије на екрану. На наредној слици приказана је детекција саобраћајне траке коришћеним алгоритмом.



Слика 23. Трапез настао исцртавањем детектоване саобраћајне траке

Како би се овај трапез могао исцртати, алгоритам прослеђује графичком систему податке о координатама крајњих тачака, горње леве, горње десне, доње леве и доње десне. Овај трапез продужетком бочних страница (кракова трапеза) формира троугао. У зависности од врсте кривине или правца, овај трапез ће имати другачије углове, па тако постоји више случајева детектованих трапеза (троуглова). Као пример ће се навести два специфична случаја, и они су приказани на следећој слици.



Слика 24. Приказ специфичних трапеза и углова који су добијени

Први од два случаја јесте једнакокрани трапез. Углови на основици трапеза су једнаки, самим тим су и краци трапеза једнаки, по чему је и добио име. Овај случај у нашем примеру представља потпуно прав пут, без иједне кривине. Оса кретања јесте права која сече средине основица трапеза. Ово је најједноставнији случај за управљање, када је возило слободно да се креће равно при највећој дозвољеној брзини уколико нема објекта који ће тако нешто спречити.

Други случај јесте случај правоуглог трапеза. Овај случај је тзв. гранични случај, те је са те стране посебно интересантан. Ово је случај када се наилази на кривину улево. Већ је објашњен појам интересног региона, тј. зоне у којој се врши детекција ивица, али и исцртавање линија детекције. Будући да се даље не врши исцртавање линија, само ће десна линија одређивати угао скретања. Један угао који основица заклапа са крацима јесте прав, а други је оштар. Пошто је десни угао оштар, значи да је кривина на коју се наилази лева.

Најважнија ствар која се види из ова два примера јесте да заправо углови на основици зависе од кривине на коју се наилази. Из ове чињенице, извршено је управљање ровером помоћу разлике два угла са основице. Рачунање углова на основици није тема овог рада, па се неће посветити додатна пажња самим математичким формулама.

Битно је нагласити шта се дешава у случајевима наиласка на кривину. Точкови возила ће скретати у складу са наиласком на кривину. Уколико је кривина оштрија, угао који точкови заклапају са осом која пресеца ровер уздуж биће све већи и већи. Осим тога, како би возило могло скренути, што је оштрија кривина, возило ће се кретати спорије, тј. врши се успоравање возила у складу са углом скретања пута.

Што се тиче случајева када се не препознаје саобраћајна трака, одређено је да возило остане у стању у ком је био при наиласку на кривину, дакле неће додатно успоравати или скретати у поређењу са последње детектованом траком. Овим се решава проблем оштрих кривина, где се правац скретања точкова „држи“ све док се не изађе из кривине, односно док возило опет не препозна саобраћајну траку.

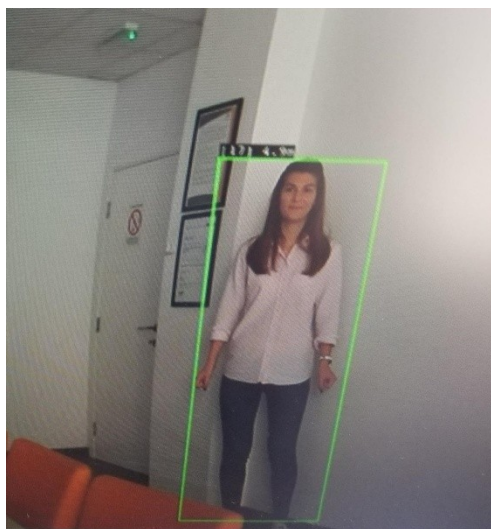
3.2.2 Детекција објеката у саобраћају

Алгоритам који се користи за детекцију објеката јесте сложен алгоритам чији се резултати на екрану могу видети као правоугаоником уоквирен детектовани објекат. Детектовани објекат може бити различитог типа: пешак, бициклиста, аутомобил, аутобус, камион и теретно возило са приколицом. У зависности од типа објекта, правоугаоник којим се исцртава биће друге боје, нпр. зелене за пешака или црвене за аутомобил. Друга значајна информација коју алгоритам генерише јесте удаљеност објекта од камере, и та информација се такође исцртава на екрану. Како би се правоугаоник исцртао неопходне су координате на екрану, те се те информације такође преносе графичком систему.

На наредним сликама види се детектован аутомобил и детектован пешак алгоритмом који је коришћен у раду.



Слика 25. Детектовани аутомобили и раздаљина до њих

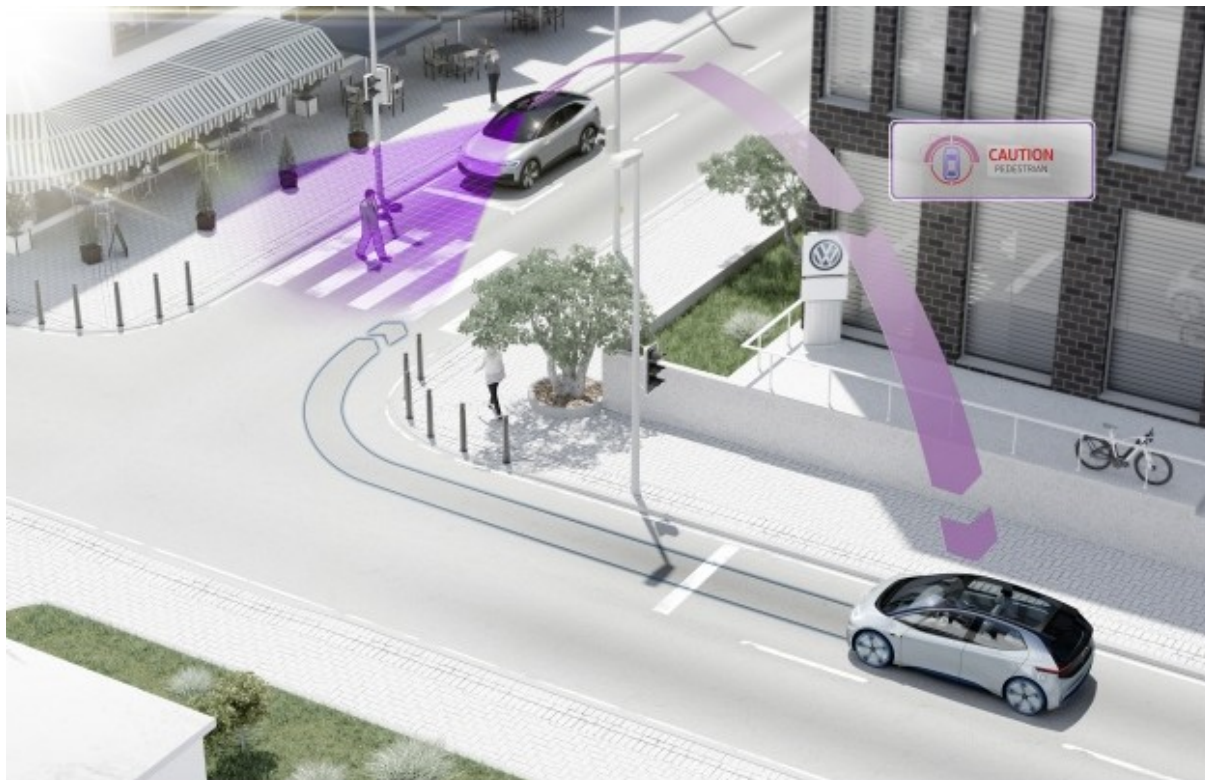


Слика 26. Детектован пешак и удаљеност до пешака

Информације које су од значаја за кретање возила јесу удаљеност од возила и тип возила. На основу њих може се развити алгоритам кретања. Идеја је да се уколико се приближи објекту на мање од неке границе почне успоравати ровер, док је друга, мања граница, тзв. критична граница, она која ровер зауставља у потпуности. На овај начин, возило прилагођава брзину кретања на основу опасности коју може да изазове, тј. што је мања опасност, возило ће се брже кретати, а у случајевима велике опасности возило ће се у потпуности зауставити и спречити катастрофалне последице. Сам алгоритам заустављања и успоравања након детекције објекта није тема овог рада.

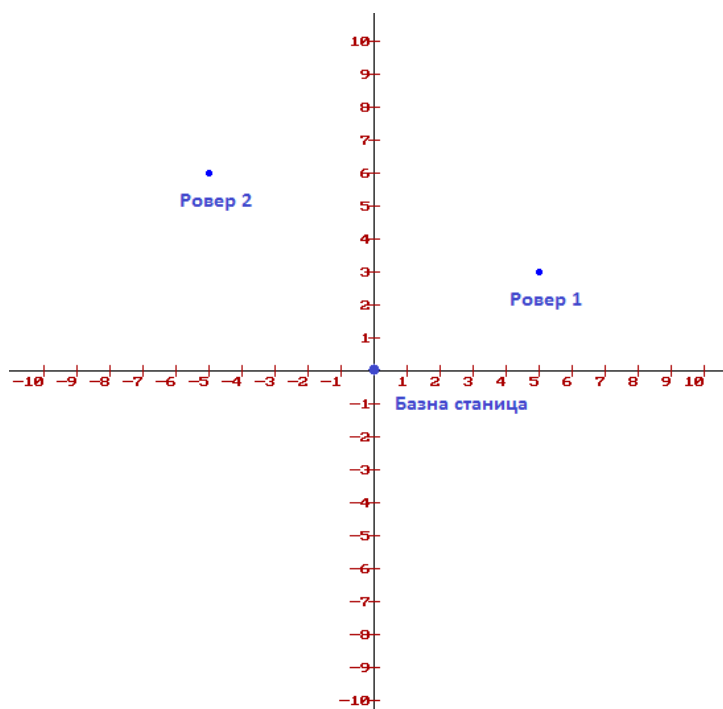
3.3 Комуникација два возила и дељење информација о детектованим објектима

Од изузетног значаја за безбедност саобраћаја јесте дељење информација између два возила. Због свега овога мора се обезбедити да се пренос података између два возила обавља сигурном и стабилном везом, као и сигурним и поузданим начином стицања пакета.



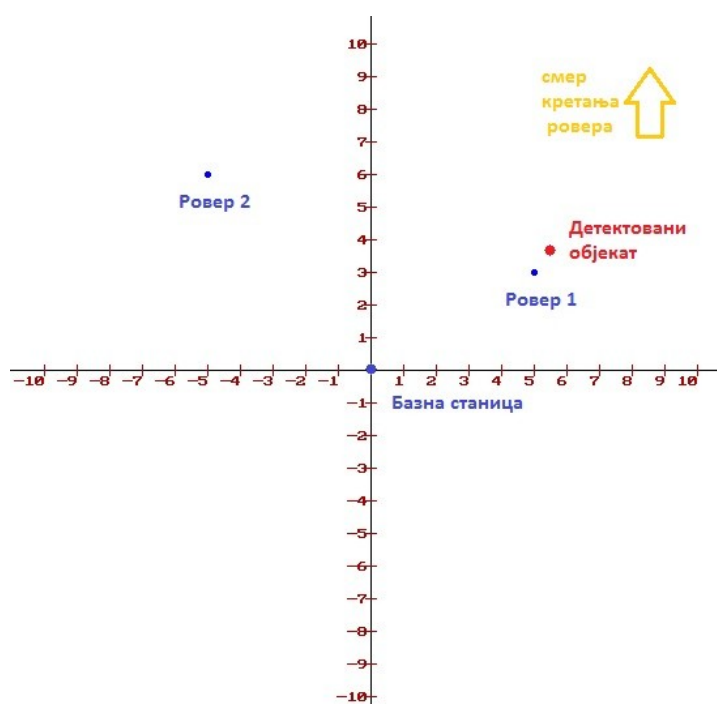
Слика 27. Пример комуникације и дељења информација о детектованом пешаку ради повећавања безбедности саобраћаја

Како би се делиле информације, на ALPHA плочама које контролишу ровер се отвара поуздана TCP (енг. *Transmission Control Protocol*) конекција. Свако возило ће слати другом возилу детектована возила, док ће се на основу прорачуна на другом возилу одређивати колико је оно заправо далеко од тог возила и на основу тих информација ће се возило понашати. Будући да су возила удаљена и да нису постављена у исту тачку, потребно је одредити где се она заправо налазе у простору. Базна станица је означена као референтна тачка и она ће имати координате (0, 0). Због непостојања GPS модула, возила ће добити неке своје координате које ће бити претпостављене. Следећа слика даће јаснији приказ како то заправо изгледа у простору.



Слика 28. Положај ровера 1 и ровера 2 у односу на базну станицу

Уколико је неки објекат детектовао ровер 1, и он се налази на некој дистанци од ровера 1 која је значајна за његово кретање, то не мора да значи да ће тај објекат имати утицаја и на кретање ровера 2. Следећи пример то доказује:

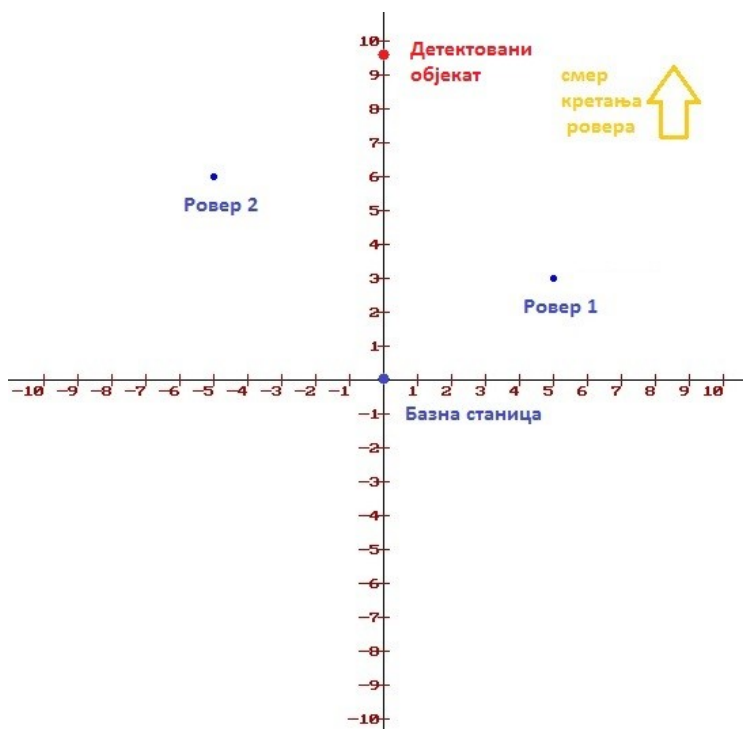


Слика 29. Детектовани објекат од стране ровера 1 који не утиче на кретање ровера 2

Од суштинског је значаја да се информација о даљини објекта од једног ровера пошаље ка другом, али да се притом пошаљу и подаци везани за координате у односу

на референтну тачку. Слање ових података омогућује да други ровер одлучи да ли је детектовани објекат од значаја за кретање њега самог или не.

Са друге стране, од значаја за рад јесу потпуно другачије ситуације, као што је ова приказана на наредној слици.



Слика 30. Приказ када детектовани објекат утиче на кретање оба ровера

У оваквим ситуацијама, уколико ровер 1 види детектовани објекат, а ровер 2 из неког разлога не успе да види тај објекат, дешава се да ровер 2 захваљујући повезаности ова два возила и сам зна где се тачно налази одговарајући објекат у односу на њега, и у складу са тим информацијама је у стању да реагује и спречи саобраћајну несрећу.

Због свега наведеног, одлучено је да се као подаци који су од значаја за оба ровера шаљу тип возила, удаљеност детектованог објекта, координате при исцртавању објекта (горња лева, горња десна, доња лева и доња десна), али и координате у простору, које емулирају GPS координате.

Очекивани резултати рада биће да се знатно побољша безбедност саобраћаја и спрече саобраћајне несреће. У резултатима ће бити упоређени случајеви како поменути подаци помажу да возило може омогућити сигурнију и безбеднију вожњу за све учеснике у саобраћају.

3.4 Контролни механизми заштите управљања возилом

Увођење аутономне вожње у саобраћај доноси значајно олакшање, али уводи и нове изазове који се морају превазићи док се целокупан прелазак на аутономна возила потпуно не примени. Управо прелазни период јесте најтежи, те стога треба посебну пажњу посветити самом проблему безбедности, и у том периоду не журити да се по сваку цену уведе нешто што још није спремно у саобраћај.

Постепеним увођењем подразумева се да се од возила без иједног система за помоћ возачу иде ниво по ниво аутоматизације, све док се не дође до потпуног одсуства возача. У самом преласку не треба штедити ресурсе и треба омогућити више нивоа заштите самих учесника. Као што аутономна вожња доноси добитке и олакшање за учеснике у саобраћају, изузетно је важно не заборавити на све могуће катастрофалне последице које аутономна вожња може донети. Много је случајева које је јако тешко предвидети и у комбинацији неких случајева може се десити да возило једноставно не зна да одреагује како треба. Зато је људски фактор и даље потребан како би надгледао вожњу док се не увери да сви аутомобили немају потпуну сигурност у одлучивању при вожњи.

Будући да се у раду користи систем са 2 прототипа аутомобила, одсуство возача је већ самим тим гарантовано. Осим што је потребно обезбедити да је кретање стварно сигурно помоћу алгоритама за детекцију саобраћајне траке и детекцију објеката, у потпуности искључити људски фактор је ствар која би ипак представљала опасност по учеснике у саобраћају. Људски фактор се у овај рад уводи концептом контролне станице.

Други проблем који је овде уочљив јесте претпоставка да су сви аутомобили повезани. Шта ако се деси да један аутомобил изгуби мрежу из неког разлога? То би била јако незгодна ситуација, јер би возило наставило да се креће неконтролисано, тачније, изгубила би се размена података са другим ровером, што би могло довести до губљења информација које ровер не може сам да види. Због свега овога уведен је концепт провере везе са станицом, назван „Откуцаји срца“, или на енглеском Heart Beat.

3.4.1 Контролна станица – концепт

Контролна станица јесте први ниво додатних механизма заштите учесника у саобраћају. Овде је присутан тзв. модел V2I (енг. *Vehicle to Infrastructure*), односно комуникација возила са инфраструктуром. Уколико су возила из неког разлога у немогућности да предвиде кретање, оператер из централе је у могућности да забрани

возилу да се креће. Ово је један од основних принципа повећања безбедности међу учесницима. Један човек, који се налази на удаљеном месту, у тзв. контролној станици, у стању је да управља са већим бројем аутомобила, или свим, у зависности од броја возила која се налазе на том простору. Овим се значајно смањује могућност саобраћајних незгода и несрећа.



Слика 31. Илустрација контролне станице

За овај концепт изузетно је значајан квалитет мреже. Потребно је да постоји минимално кашњење између аутомобила и станице, али и да веза буде поуздана, како би се свим возилима могло управљати. Као концепт, планирана мрежа која се уводи јесте 5G мрежа, са изузетно малим кашњењем и веома стабилном конекцијом, названа URLLC (енг. *Ultra-Reliable Low-Latency Communication*). Овај механизам омогућиће возилима да успешно буду заштићени од непредвиђених ситуација, и самим тим ће додатно увећати безбедност.

У раду је за повезивање са базном станицом коришћена Ethernet веза, па је тако емулирано да базна станица има минимално кашњење и велику сигурност. Оно што је недостатак у поређењу са бежичном 5G мрежом јесте управо ожичење, односно повезаност са роверима упреденом парицом. Због целокупне поставке окружења у раду, односно испитивања у „лабораторијским“ условима, овај механизам представља добру и реалну замену за бежичну и напредну 5G мрежу.

3.4.2 Heart beat – детекција мрежног сигнала

Концепт детекције мрежног сигнала представља напреднији ниво заштите сигурности саобраћаја од базне станице. Ово је заправо заштита везе између базне станице и аутомобила.

Шта урадити ако је аутомобил изгубио везу са станицом? Пустити га да се вози даље, и смањити му безбедност која долази од базне станице или га задржати и сачекати поновну успоставу везе? Идеја да се аутомобил креће у зависности од осталих значи поред „проширења видика“ и ствар да аутомобил губи информације које је имао до тад, јер је претпоставка да он барата и својим, али и туђим подацима. У том случају, вршиће се међусобно слање података са базне станице на плочу која се налази на роверу, и очекујући нове поруке алгоритми на плочи настављају да „возе“ аутомобил. Извршено је упоређивање са радом људског срца, док има откуцаја, човек је жив и може да функционише. Када откуцаји престану, дешава се то да наступа смрт у људском случају. Због овог, овај напреднији ниво заштите између података се назива енг. *Heart Beat*, тј. откуцаји срца.



Слика 32. Илустрација назива Heart Beat

Када „срце“, односно ALPHA плоча која је срце система сваког ровера, има податке који пристижу са другог ровера, и када има могућност да је неко заустави, све се дешава очекивано. Шта се деси када у сликовитом случају се појави равна линија при откуцајима, односно када се прекине веза између базне станице и ALPHA плоче?



Слика 33. Илустрација „смрти“ конекције између платформе и контролне станице

Како је направљена паралела између срца и конекције, потребно је још видети шта ће представљати контракцију срчаног мишића, односно детекцију везе у случају вожње. Замишљено је да се са базне станице периодично шаљу поруке, које ће друга страна прихватати. Све док прихвата поруке, ништа се не дешава, односно алгоритми детекције линија и објеката са тог ровера и подаци о препрекама са другог ровера омогућују аутомобилу да се аутономно креће, а човеку који се налази у контролној станици да по потреби заустави целокупно кретање. Када дође до прекида конекције, односно не прими се одговарајућа порука са друге стране, возило ће се зауставити. То је приказано као најбезбедније решење, како би се спречила евентуална излетања аутомобила са стазе, односно насилно гашење целокупног система док је систем у „лабораторијским условима“.

Међутим, шта ако се ова веза врати? Аналогијом са људским срцем, ово је нешто слично реанимирању, односно поновном покретању срца након престанка рада срчаног мишића. У нашем случају, није потребно да се возило потпуно искључује из саобраћаја, тј. да се ручно мора склањати са пута или поновно му покретати цео систем. Једноставно ће се десити да након поновне успоставе везе, аутомобил добије дозволу да настави да се креће реагујући на остале алгоритме. Ово је значајно јер би се у супротном аутономност возила ограничила, па би при евентуалним мрежним грешкама и слично за свако возило морао постојати човек који би те аутомобиле и целокупан систем на њима морао ручно рестартовати.

3.5 Услови за аутономно кретања возила у приказаном решењу

Претпоставке по којима је прављено практично решење у раду су ограничења која уводи овај рад, али која не утичу на евентуална проширења проблема који се обрађује. Ово је решење које је направљено за два прототипа аутомобила која се крећу у

контролисаним условима, у две саобраћајне траке у истом смеру, један поред другог. Кретање у истом смеру доноси нам то да оба возача имају исто видно поље, односно сам алгоритам кретања је претпостављен овом чињеницом. Оба возила рачунају удаљеност од препрека алгоритмом који подразумева исти смер кретања. Увођење више аутомобила значило би увећавање броја конекција између аутомобила, и не би утицало на резултате самог кретања. Друга претпоставка је да стаза којим се возила крећу мора бити физички одвојена од остатка саобраћаја, са јасно оцртаним саобраћајним тракама које подразумева алгоритам за детекцију ивица. На стази се могу наћи различити објекти, али је неопходна и присутност човека који ће надгледати кретање из базне станице и по потреби зауставити неки од ровера, или оба, у зависности од услова. Будући да се вожња одвија у лабораторијским условима због недостатка простора на ком се може безбедно тестирати, повезивање се врши Ethernet везом, односно повезивање је путем жице. Преглед рада алгоритама детекције саобраћајних трака и препознатих објеката је из истог разлога могуће радити на мониторима који се налазе поред ровера. Детаљан начин тестирања биће приказан у делу рада Тестирање и резултати.

4. Програмско решење

Практични део рада рађен је у програмском језику (енг.) C, у програмском окружењу Vision SDK, верзија 02.12.00.00. У овом делу рада биће приказана имплементација решења представљеног у концепту решења, са детаљима имплементације и начином на који ће се објаснити кључни проблеми приликом реализације рада. Кроз поглавља овог дела упознаће се са целокупним решењем, по његовим деловима. У деловима где исти принцип постоји за два ровера, приказиваће се само део за један ровер, док ће се нагласити која је разлика везана за други ровер. Због истих функционалности два ровера, најчешће неће бити већих детаља око другог ровера, али ће се подразумевати да је исти принцип коришћен у оба случаја.

4.1 Преглед функционалности система и примена на хардверске платформе

Као што је приказано до сада, ALPHA плоча садржи три система на чипу која су по својој природи независна, али су у стању да посредством веза комуницирају са преостала два система на чипу. Три система на чипу дају довољно ресурса да се користе два алгорита која су дата концептом решења, али и да равномерно распореде ресурси у циљу што бољих резултата. Кренуће се од једноставнијег дела, објашњења кода на Zybo плочи, затим ће се објаснити како је распоређена функционалност базне станице, а на крају ће се објаснити који делови ALPHA плоче служе за шта при извршавању алгоритама на самом роверу.

4.1.1 Zybo плоча – код за прихват команди

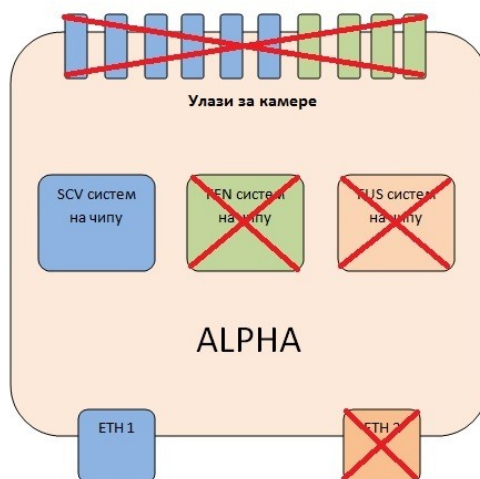
Намена Zybo плоче је да прихвати команде са мреже које добија од ALPHA плоче постављене на самом роверу поред ње. На Zybo плочи портован је једноставан Linux оперативни систем, а код који се извршава писан је такође у програмском језику (енг.) C. У питању је једноставан програм, чија се имплементација састоји из отварања мрежне утичнице (енг. *Socket*) са одговарајућим пролазом (енг. *Port*). Статички је постављена IP адреса плоче на 192.168.245.101 (192.168.245.110 у случају другог ровера), са мрежним пролазом 5055. Поруке које се примају имају одговарајући формат:

```
typedef struct {  
    char tag[4];  
    uint32_t flags;  
    uint32_t seq;  
    uint16_t chan_val[NUM_CHANNELS];  
} pwm_ctrl_packet_t;
```

Од поља која су од значаја издваја се поље `chan_val`, које у 16-обитни низ података смешта вредност из које се генеришу PWM вредности за управљање мотором. Максимална вредност за гас јесте 1855, а минимална 955 (1480 је вредност када ровер стоји, мање вредности су вредности рикверца, веће вредности представљају гас), али је због велике брзине ровера вредност ограничена на 1350 односно 1590. Вредности које прихвата програм на zybo плочи за скретање су (у редоследу максимално лево - право - максимално десно) 1860 – 1530 – 1150. Пре покретања овог програма неопходно је учитати *axi_regbank* модул, који пресликава примљене вредности на PWM саме Zybo плоче. Оба корака, учитавање модула и покретање програма су аутоматизовани, и дешавају се самим укључивањем Zybo плоче.

4.1.2 Базна станица – преглед по системима на чипу

Будући да базна станица треба да контролише кретање ровера, битно је да мрежа буде укључена. ALPHA плоча има 3 система на чипу, и два Ethernet излаза, која су директно везана за први и трећи систем на чипу. Могућ је излаз и са другог система на чипу преко оба од ових излаза, али у том случају би комуникација ишла преко тог система на чипу. Будући да захтевност мрежних задатака није велика, користиће се само први систем на чипу за оба мрежна задатка. Сви ресурси који се не користе биће приказани са црвеним словом икс (енг. *X*).



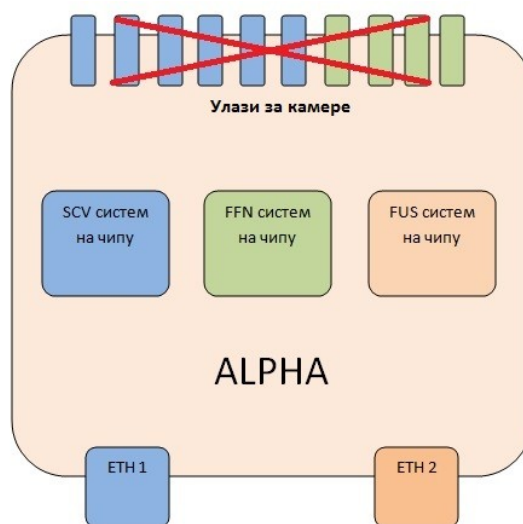
Слика 34. Коришћење ресурса на ALPHA платформи за базну станицу

Такође, неопходно је додати да се комуникација са корисником обавља преко UART (енг. UART – *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), који је повезан на први систем на чипу.

4.1.3 Ровер – преглед по системима на чипу

Будући да се на сваком од ровера морају извршавати алгоритми за детекцију саобраћајне траке и детекцију објеката, али и одлучивање како ће се возило даље кретати и слање детектованих података на други систем на чипу, јасно је да је организација ресурса на овом систему на чипу била најтежа. Сам наговештај да имамо 3 чипа даје могућност да се логички одвоје 3 целине које ће се распоредити у складу са могућностима хардверске платформе. Одлучено је да први систем на чипу користи једну камеру за алгоритам за детекцију објеката, а да други систем на чипу користи још једну камеру за алгоритам за детекцију саобраћајних трака. Дакле, две физички независне камере биће накатене на сам ровер, и свака ће служити свом циљу. Остале камере нису потребне, те ће 8 улаза за камере остати празно у овој поставци. Трећи чип даје могућност за трећу логичку јединицу, што значи управљање возила. Подаци ће се међусобно размењивати између сва три чипа, који ће касније изгенерисати поруку за слање Zybo плочи. Како би се ти подаци послали, физички ће бити спојени Ethernet са трећег чипа и Ethernet на Zybo плочи. Други Ethernet излаз служиће да се повеже на мрежни комутатор, где ће се размењивати поруке са базном станицом и другим ровером, тј. другом ALPHA платформом.

Следећа слика даје приказ ресурса на ALPHA платформи која се користи за извршавање алгоритама и слање команде ка Zybo плочи ради управљања самог ровера.



Слика 35. Ресурси на ALPHA плочи на роверу

Као што је видљиво на слици, приказано је да се користе две камере, једна на првом систему на чипу, а једна на другом систему на чипу. Како би било потпуно јасно шта који од система на чипу ради на плочи, најбоље је приказати све функционалности система на чипу. Следећа табела даје преглед свих функционалности које се налазе на ALPHA плочи. Са леве стране биће излистани системи на чипу, док ће десна страна дати функционалности које извршава сваки од система на чипу.

СИСТЕМ НА ЧИПУ	ФУНКЦИОНАЛНОСТИ
SCV систем на чипу	Прихват видеа са камере 1
	Извршење алгоритма за детекцију објеката
	Слање резултата алгоритма за детекцију објеката на други ровер
	Слање резултата алгоритма за детекцију објеката на FUS систем на чипу
	Приказ видеа ради провере на HDMI
FFN систем на чипу	Прихват видеа са камере 10
	Извршење алгоритма за детекцију саобраћајне траке
	Слање резултата за детекцију саобраћајне траке на FUS систем на чипу
	Приказ снимка са камере са детектованим линијама на HDMI

FUS систем на чипу	Прихват података са локалног ровера о детектованим објектима
	Прихват података са удаљеног ровера о детектованим објектима
	Прихват података о детектованој саобраћајној траци са локалног ровера
	Прихват контролних Heart Beat порука са базне станице и реаговање на њих
	Прихват старт/стоп команди са базне станице и реаговање на њих
	Генерисање вредности за PWM за слање ка Zybo плочи

Табела 2. Приказ функционалности сваког од система на чипу ALPHA плоче на роверу

Детаљније објашњење појединих функционалности биће дато у следећим јединицама рада.

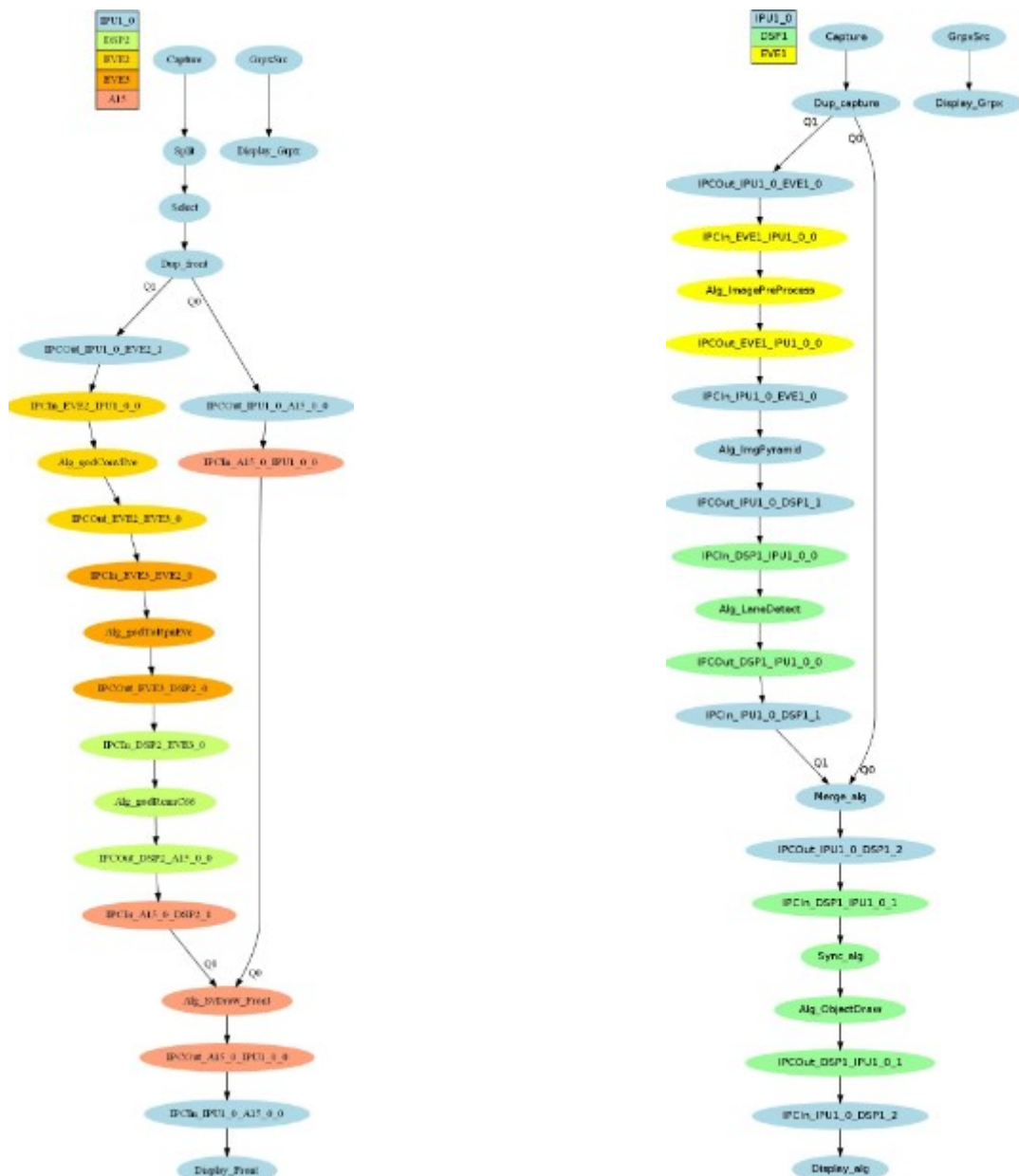
4.2 Портовање алгоритама за детектовање саобраћајних трака и објеката на ALPHA платформи

Алгоритми који се користе за детекцију саобраћајних трака и детекцију објеката су алгоритми који су истренирани на неким другим мрежама. То су математички алгоритми обраде слике, тј. видео сигнала. Да би се овај алгоритам могао извршавати на конкретној физичкој архитектури, мора се добро познавати хардверска платформа и њене особине.

Коришћени алгоритми у раду су напредни алгоритми, те се стога њихово портовање извршава од стране инжењера који су део тима који је учествовао у развоју алгоритама. Ти инжењери морају имати податке о типу система на чипу на који се алгоритам портује, те искористити што боље ресурсе које дата хардверска платформа поседује. Алгоритми за детектовање саобраћајних трака и објеката су били портовани на хардверске платформе где је TDA2x главни систем на чипу, али нису биле портоване на ALPHA платформу. Стога је било неопходно модификовати их, прилагодити специфичностима хардверске платформе и тек онда видети ефекат њиховог рада.

Највећа измена коју је унела ALPHA платформа јесте коришћење других камера за снимање околине. Без улажења дубље у детаље, неопходно је знати да су убачени серијалајзери и десеријалајзери који омогућују комуникацију камере са системом на

чипу. Због тога је у оба случаја било неопходно убацити другачији линк за прихват са камера, а због специфичности првог система на чипу на ALPHA плочи, додати и линк који ће раздвојити видео улазе. Наиме, 6 камера са првог чипа дају слике са камера у пару, камере 1-2, 3-4 и 5-6. Будући да се у баферу спремају подаци са обе камере, како би искористили само једну камеру, неопходно је раздвојити те бафере, што ради линк Split. Следећа слика даје оригиналне токове података из Vision SDK.



Слика 36. Приказ тока података алгорита за детекцију објеката (лево) и за детекцију саобраћајне траке (десно)

Не залазећи у детаље алгоритама, приметно је да код алгорита за детекцију објеката постоји и Select линк на самом почетку, што је исто додатак за ALPHA плочу.

Овај линк ће изабрати који од две претходно раздвојене камере ће се користити у обради алгоритма.

На слици се такође види комплексност алгоритама, и заузетост процесора. За алгоритам за детекцију објеката заузети су IPU1_0, DSP2, EVE2, EVE3 и A15 процесор, док алгоритам за детекцију саобраћајних трака користи IPU1_0, DSP1 и EVE1 процесор.

У теорији, будући да имамо довољан број процесора на једном систему на чипу, ова два алгоритма би могла да раде у паралели не сметајући један другом. Ипак, због жеље за и физичком одвојености логичких делова, у овом раду се алгоритми извршавају на два система на чипу.

Потребно је додати и да алгоритам за детекцију саобраћајних трака нема специфичности везане за Split и Select линкове, управо из разлога што су на другом систему на чипу изведени хардверски услови да свака камера представља један ток података. Ипак, модификација Capture линка је била неопходна за рад на ALPHA хардверској платформи.

4.3 Слање података о детектованим објектима

Резултати детекције објеката биће приказани на излазу на екран, где ће бити исцртани и приказана информација о удаљености објекта од возила са ког се снима. Будући да је то део где се информације добијају, неопходно је било ући у саму имплементацију линка за исцртавање графике, и у њему пронаћи све информације.

4.3.1 Извлачење података из алгоритма

Сам линк за исцртавање графике је .с фајл назван SvDrawLink_algPlugin.c. Поседује функције којима од добијених резултата из алгоритма издваја корисне податке од података који нису поуздани и нису значајни. На тај начин, он врши филтрирање резултата који ће бити исцртани. На пример, један од тих „филтера“ јесте и тај да ли се објекат налази у потпуности у видном пољу камере, тако да се он може потпуно уоквирити правоугаоником.

Од свих тих података, главно је извући информације о типу објекта, тј. да ли је објекат пешак или неко од возила, и дистанца објекта. Осим ових података, неопходан је и број укупно препознатих објеката, како се не би десило да алгоритам детектује једног пешака који је далеко, а оног који је близу ровер не види. Још један од важних података јесте удаљеност од референтне тачке, односно базне станице. Структура у коју се смештају подаци изгледа овако:

```
typedef struct
{
    Int32 type;
    float distance;
    Int32 left;
    Int32 right;
    Int32 top;
    Int32 bottom;

    float geo_x;
    float geo_y;
} ObjectTypeDistance;
```

Дакле, ово су подаци за један детектовани објекат. Поље `type` представља тип детектованог објекта. Направљена је енумерација која пресликава типове у 32-битни број, који се на пријемној страни детектује истом енумерацијом.

```
typedef enum
{
    SVDRAW_GOD_CLASS_PEDESTRAIN = 0,
    SVDRAW_GOD_CLASS_RIDER = 1,
    SVDRAW_GOD_CLASS_CAR = 2,
    SVDRAW_GOD_CLASS_TRUCK = 3,
    SVDRAW_GOD_CLASS_BOX_TRUCK = 4,
    SVDRAW_GOD_CLASS_BUS = 5,
    SVDRAW_GOD_CLASS_NUM = 6,
    SVDRAW_GOD_CLASS_FORCE32BITS = 0x7FFFFFFF
} SVDRAW_GOD_Class;
```

Дистанца је децимална вредност у метрима, затим ту су 4 координате исцртавања правоугаоника на екрану и 2 координате детектованог објекта у односу на референтну тачку, тј. контролну станицу. Сада имамо све важне тачке које су неопходне за даље израчунавање. Потребно је само још извући тачан број детектованих возила и послати податке о свима њима. За то је задужена следећа структура:

```
typedef struct
{
    Int32 numObjects;
    ObjectTypeDistance objectTypeDistance[20];
} DetectedObjects;
```

Као што се види, максималан број детектованих објеката јесте 20. Ова структура се шаље ка трећем чипу ради утврђивања кретања на основу ових података, али и трећем чипу другог ровера, који ће прерачунати даљину у односу на своју референтну тачку и такође реаговати на објекат, чак и уколико га он сам није физички видео.

4.3.2 Слање преко мреже ка другом возилу

Слање детектованих објеката се врши периодично, на сваких 100ms. Зашто је изабрано баш 100ms. Израчунато је да 100ms представља време за које ровер, крећући се брзином од 49km/h (15m/s), пређе 1,5m пре него што почне да кочи. Ово је изабран као најгори могући случај, иако је брзина ровера у поставци ограничена на неких 20km/h. Постављене су такве границе да алгоритам проверава близину објекта и ако је она мања од 7m да се потпуно зауставља. За ово време, возило ће моћи да стане чак и у најгорем случају.

Слање на трећи чип се врши преко интерне мрежне повезаности, тзв. (енг.) *Daisy Chain* механизма. Овај механизам представља мрежни комутатор на сваком систему на чипу, те омогућава да се пакети између система на чипу размењују независно од повезаности са спољним мрежама. Потребно је отворити мрежни socket, дати одговарајући порт и слати пакете даље. Vision SDK не прави разлику између слања на исту и на другу плочу.

4.4 Мрежни задатак за слање и примање Heart Beat порука

Напредни механизам заштите учесника у саобраћају објашњен је у концепту решења. Сама имплементација са стране базне станице је једноставна, док је на пријемној страни логика компликованија.

Базна станица има задатак да на сваких 100ms шаље једну тзв. Ping команду, којом ће проверавати стање ровера. 100ms је одлучено из истог разлога као и пре, да би се возило могло безбедно зауставити у случају отказивања рада. Сама имплементација подразумева слање преко TCP протокола, јер је он поуздан. Базна станица ће отворити мрежни socket са одговарајућим портом, сместити у бафер вредност 1, и послати бајт података са том вредношћу ка сваком од ровера.

Ровер на пријемној страни има задатак да отвори свој socket као и да чека на отварање socket-а на страни базне станице, а када се успостави конекција, да на одређено време позива callback функцију, која ће упоређивати време пријема последње поруке са тренутним временом. Овај механизам се позива на 100ms, али се у њему ипак проверава да ли је прошло више од 200ms. Сматра се да уколико возило не прими две поруке, онда је изгубило везу са централом. Такође, неопходно је проверити да ли је примљена порука управо она која је послата, а уколико није, прекида се веза и ровер се зауставља. Овим се спречава да неко други може да упадне у комуникацију контролне станице и ровера. У самом раду, контролна порука јесте 1, једноставна је, али се

алгоритмима енкрипције може направити да то стварно буде поуздано. Креирање и покретање самог механизма који је „окидач“ (енг. *Interrupt*) је приказано у следећем коду.

```
gconnection_control_obj.timer = BspOsal_clockCreate(
    (BspOsal_ClockFuncPtr) &HeartBeat_timerCallback,
    100,
    (Bool)FALSE,
    &pObjCc);

BspOsal_clockStart(pObj->timer);
```

Уколико се време измерено у при пријему поруке и у самом callback механизму повећа изнад 200ms, неопходно је дати одговарајући знак да FUS систем на чипу заустави ровер. То се ради тако што се алгоритму који шаље команде ка Zybo плочи прво шаље знак да је дошло до прекида везе, постави се одговарајући бит на 1, а затим се постави да одговарајућа команда буде стоп команда. Све време механизам и даље ради очекујући нову поруку. Уколико она дође, механизам препознаје то, ставља одговарајући бит на 0, тј. дозвољава наставак кретања аутомобила. Како ће се даље наставити кретање зависи од резултата алгоритама и одлучивања FUS чипа.

4.5 Мрежни задатак за слање и прихват порука за заустављање возила из базне станице

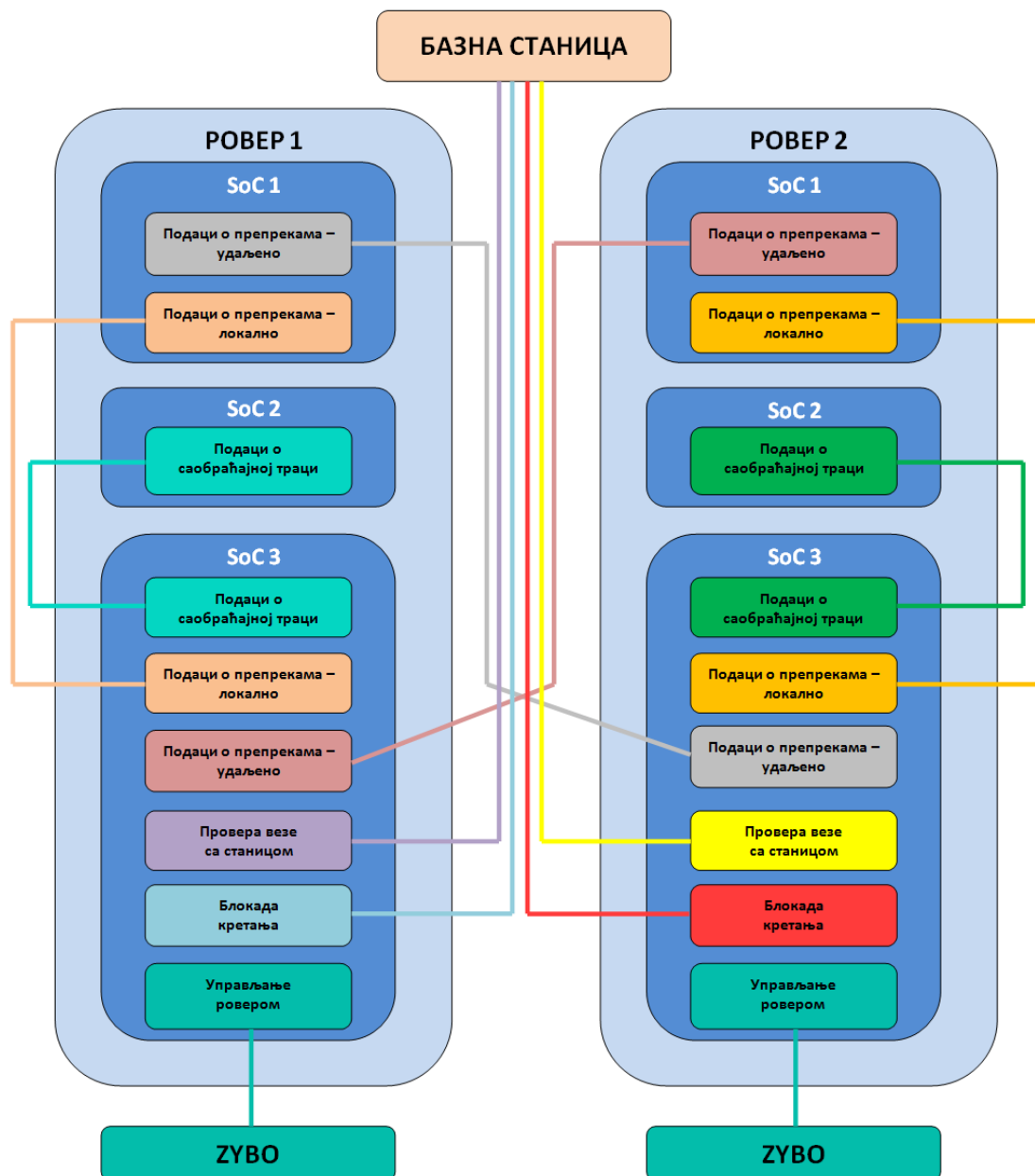
Како би се са базне станице могли зауставити аутомобили по потреби, потребан је човек који ће то радити. Наиме, корисник мора да има приступ слању команди ка одређеном роверу. То се ради посредством једног задатка који стално проверава да ли је корисник дао дозволу или забрану кретању тог ровера.

Будући да постоје 2 ровера, дефинисани су тастери за сваки ровер посебно, за дозволу, односно забрану кретања самих ровера.

Први ровер ће реаговати на слова S и G, док ће други ровер реаговати на слова P и G које корисник уноси са тастатуре. Слова S и P значе забрану кретања ровера, док слова G и F дају дозволу за наставак кретања. Корисник притиском на одговарајуће слово тастатуре даје мрежном задатку одговарајућу поруку. У зависности од поруке, један од два мрежна задатка за слање ових порука ће послати поруку на одговарајући ровер. Тај мрежни задатак ради само при генерисању поруке, односно неће слати поруке све док корисник сам не притисне одговарајуће дугме.

Пријемна страна ради нешто слично као и у случају за *Heart Beat*. Порука се прима, проверава се њена валидност, и уколико је порука валидна, поставља се одговарајући (енг.) *flag* - заставица, који има задатак да каже возилу да централа зауставља возило. Овај *flag* има највиши приоритет у управљању возилом, ниједан други алгоритам не може утицати на кретање возила док је возило са овим *flag*-ом. Тек када се отклони опасност и корисник да знак да возило може да настави да се креће, индикатор се уклања, и ровер може наставити кретање у зависности од осталих алгоритама.

4.6 Преглед свих повезивања у систему



Слика 37. Преглед свих конекција у систему

Као што се види са претходне слике, систем је веома компликован, и један ровер садржи чак 6 конекција и информација које му стижу како са осталих чипова, тако и са другог ровера и базне станице. Проширивањем окружења добила би се још шира функционалност, тако да би мрежа добила још значајнију улогу у систему.

Пошиљалац	Прималац	IP адреса пошиљаоца	IP адреса примаоца	Порт	Намена
Ровер 1 SCV	Ровер 2 FUS	192.168.245.104	192.168.245.116	10051	Препреке удаљено
Ровер 1 SCV	Ровер 1 FUS	192.168.245.104	192.168.245.103	10050	Препреке локално
Ровер 1 FFN	Ровер 1 FUS	192.168.245.102	192.168.245.103	9002	Саобраћајна трака локално
Ровер 1 FUS	Zybo 1	192.168.245.103	192.168.245.101	5055	Подаци за управљање ровером
Ровер 2 SCV	Ровер 1 FUS	192.168.245.114	192.168.245.103	10051	Препреке удаљено
Ровер 2 SCV	Ровер 2 FUS	192.168.245.114	192.168.245.116	10050	Препреке локално
Ровер 2 FFN	Ровер 2 FUS	192.168.245.115	192.168.245.116	9002	Саобраћајна трака локално
Ровер 2 FUS	Zybo 2	192.168.245.116	192.168.245.111	5055	Подаци за управљање ровером
Базна станица	Ровер 1 FUS	192.168.245.100	192.168.245.103	11050	Дозвола и забрана кретања
Базна станица	Ровер 1 FUS	192.168.245.100	192.168.245.103	9009	Heart Beat механизам
Базна станица	Ровер 2 FUS	192.168.245.100	192.168.245.116	10051	Дозвола и забрана кретања
Базна станица	Ровер 2 FUS	192.168.245.100	192.168.245.116	9010	Heart Beat механизам

Табела 3. Све конекције у систему

Следећа табела даће приказ сваке од конекција и IP адресе учесника, портове и намену сваке од њих. Као што се види, присутно је чак 12 конекција на два аутомобила, по 6. Због свега овога, контролни механизми мреже су нешто што је неопходно.

У сваком од ових 12 случајева користи се мрежни задатак који се извршава на A15 процесору. Ово је неопходно знати да би се објаснила повезаност између процесора. Науме, уколико на неком процесору постоје подаци који се не налазе на A15 процесору, неопходно их је пребацити на A15. Ова међупроцесорска комуникација се назива IPC (енг. *Inter-Process Communication*).

Механизам постоји, али је потребно послати одговарајућу поруку ка другом процесору, што се ради позивом функције `System_linkControl`. Добар пример за ово јесте прихват порука са UART-а, који се дешава на процесору `IPU_1`.

```
System_linkControl(SYSTEM_LINK_ID_A15_0,
                  SYSTEM_COMMON_CMD_START_STOP,
                  &msg,
                  1,
                  TRUE);
```

Ово је пример једног позива за пренос података са једног на други процесор. У овом случају, команда је везана за старт и стоп ровера, у зависности од поруке. Поље `msg` носи поруку коју је корисник притиском на одговарајуће дугме притиснуо. При читању ове поруке, поставиће се одговарајућа вредност у дељену променљиву која ће служити као индикатор за дозволу кретања возила, као што је већ објашњено. Пошто је променљива дељена, потребно је омогућити да нема колизије, тј. да је стање увек конзистентно. То се омогућава преко механизма семафора. Семафор се при стицању поруке „откључава“, посредством следеће команде:

```
BspOsal_semPost(startStopSem);
```

Чим се команда изврши, неопходно је опет поставити семафор у стање чекања, што се ради позивом функције `BspOsal_semWait`.

5. Тестирање и резултати

У овом поглављу биће објашњено тестно окружење, начин тестирања, као и добијени резултати. Упоредиће се случајеви тестирања и шта је донело имплементирано решење, због чега размена података између учесника у саобраћају доноси повећање безбедности.

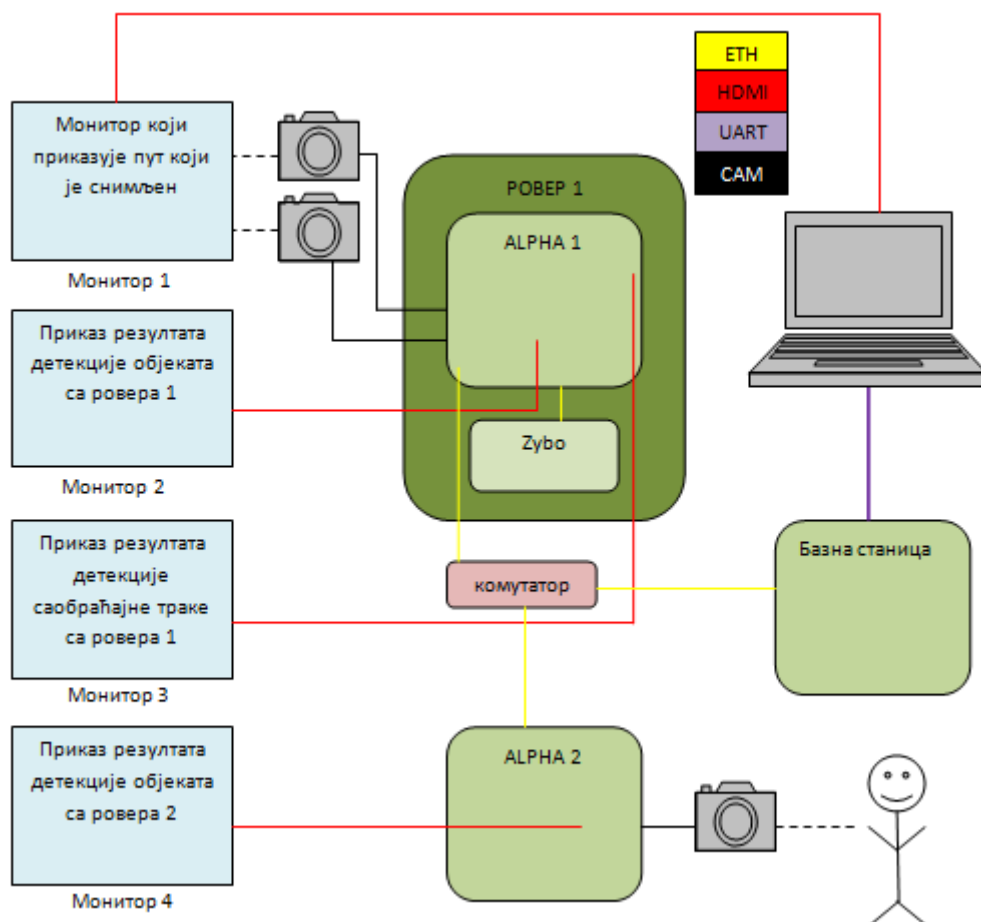
5.1 Тестно окружење

Будући да је вожња два ровера тренутно недоступна из већ објашњених разлога, недостатка адекватног простора и мрежне опреме, тестирање се врши у „лабораторијским“ условима. Неопходно је омогућити такав метод теста који би највише одговарао стварним условима.

Будући да на сваком роверу имамо две камере које снимају пут (једна за детекцију саобраћајних трака и једна за детекцију објеката), неопходно је одговарајуће камере монтирати тако да снимају саобраћај са предње стране возила. За тако нешто коришћени су већ постојећи видео снимци из реалног саобраћаја, на којима је саобраћајна трака јасно обележена. Такав видео снимак ће омогућити да алгоритам за детекцију саобраћајних трака ради управо онако како би радио и у реалним условима.

Такође, важно је напоменути да је тестирање рађено на само једном роверу, при чему ALPHA плоча са другог ровера генерише исте команде, при чему су проверена оба случаја, где оба возила возе ровер на основу својих информација.

Приказ тестног окружења приказан је на наредној слици. Као што се види на слици, црвеном бојом су приказани HDMI каблови, који повезују рачунар са монитором ради пуштања видеа, као и излаз са плоча (SCV и FFN чип) ради одговарајуће провере детекције. Љубичастом бојом дат је приказ повезивања UART-ом рачунара са базном станицом.



Слика 38. Приказ тестног окружења

Црна линија на слици представља кабл којим се повезује камера на улаз са плоче, док испрекидана црна линија представља поље снимања те камере. Жута боја представља Ethernet кабл и његов начин повезивања у систему, преко одговарајућег мрежног комутатора.

Сада када су познати начини повезивања, потребно је објаснити зашто је изабран баш овакав начин провере. Две камере које се налазе на роверу 1 снимају снимљен пут, који представља улаз у алгоритме обраде на ALPHA плочи. Препознате објекте је могуће видети на монитору број 2, док је на монитору број 3 приказана детекција саобраћајне траке са снимка који камере снимају. Будући да се не користи ровер 2 у теситрању, нема много смисла снимати саобраћајну траку на роверу број 2, а камера која се користи може снимати објекте са неког другог снимка или слично. Због једноставности тестирања одлучено је да камера која детектује објекте са плоче број 2 снима пешаке који се налазе у тестном окружењу, дакле да се директно контролише када желимо да се неки пешак појави или не. Наравно, осим овог случаја, коришћени су случајеви где се са снимка снимају пешаци и друга возила, али и где се снимање ради на правом саобраћају, где се детектују возила и пешаци који тренутно пролазе улицом.



Слика 39. Приказ тестног окружења – први део



Слика 40. Приказ тестног окружења – други део

5.2 Поступак тестирања и тестни случајеви

Поступак тестирања сводио се на сачињавање скупа тестних случајева које су требали бити покривени задатком рада. Потребно је напоменути да скретање на путу резултује скретањем тачкова на роверу као и смањењем брзине (веће скретање – мања брзина) и да је граница за заустављање ровера детекција објекта на близини мањој од 7m. На близинама мањим од 24m, а већим од 7m, линеарно се смањује брзина, тако да

се возило успорава док не приђе препреци на мање од 7m, када се зауставља. При детектовању објекта даљих од 24m, кретање се наставља као да не постоји детектовани објекат, с тим да се подаци о детекцији шаљу другом роверу.

Основни случајеви који су требали бити испитани по функционалностима су следећи:

Део тестног окружења	Тестни случај	Начин тестирања
Базна станица	Дозвола и забрана кретања	Реаговање ровера на притисак команде за заустављање и провера да ли ће возило кренути при детекцији линија
	Провера мрежног сигнала	Прекид конекције физичким извлачењем Ethernet кабла и наставак кретања враћањем кабла
Ровер	Детекција саобраћајне траке	Скретање возила у разним кривинама, провера смањења брзине у зависности од угла кривине, провера кретања у ситуацијама када се трака не детектује или када се детектује напуштање траке
	Детекција објекта	Провера детектованих информација, провера реаговања у зависности од даљине објекта (0-7m, 7-24m, 24+m)
	Детекција објекта са другог ровера	Провера рачунања даљине у односу на локални ровер, провера реаговања у складу са даљином објекта
	Одлучивање управљања	Провера одлучивања управљања када је присутно више података (детекција траке + објекта, детекција траке, објекта и прекид мрежног сигнала, итд.)

Табела 4. Табеларни приказ основних тестних случајева и начин тестирања

У табели је приказан основни приказ функционалности које треба испитати. Сваки од ових тестних случајева је тестиран на одговарајући начин. Биће објашњени неки од случајева тестирања, а за сличне случајеве ће бити наговештена само разлика.

Потребно је увидети да се у табели налази приказ са само један ровер, што значи да се тестирање обавља за оба ровера исто, па ће стога резултати другог тестирања бити представљени случајем првог ровера.

5.2.1 Тестирање базне станице

Базна станица има две основне функционалности, и стога оне морају бити испитане на начин на који ће се бити уверено да су оне испуњене.

Прва функционалност односи се на забрану и дозволу кретања возила. ALPHA плоча која представља базну станицу повезана је на комутатор, и даље на остале две плоче. Такође, UART-ом је повезана на PC, преко (енг.) *USB to Serial* адаптера. У оперативном систему Linux комуникација се остварује помоћу програма Picosom, који подешава битску брзину преноса података серијске везе, која у овом случају износи 115200bps (енг. *Bits per second* – бита у секунди). Притиском на одговарајући тастер порука која је послата је пристигла, што се исписима у тестирању могло видети. Касније се проверавало да ли та порука генерише добар механизам, тј. да ли ће се возило зауставити, што је успешно потврђено. У току развоја, пажња је била усмерена и на то да кад се возило заустави, не сме да настави кретање. Стога је после тога покушано да детекцијом линије возило настави кретање, што је било безуспешно. Тек притиском на дугме за дозволу кретања, возило је наставило кретање, чиме је потврђена функционалност забране и дозволе кретања.

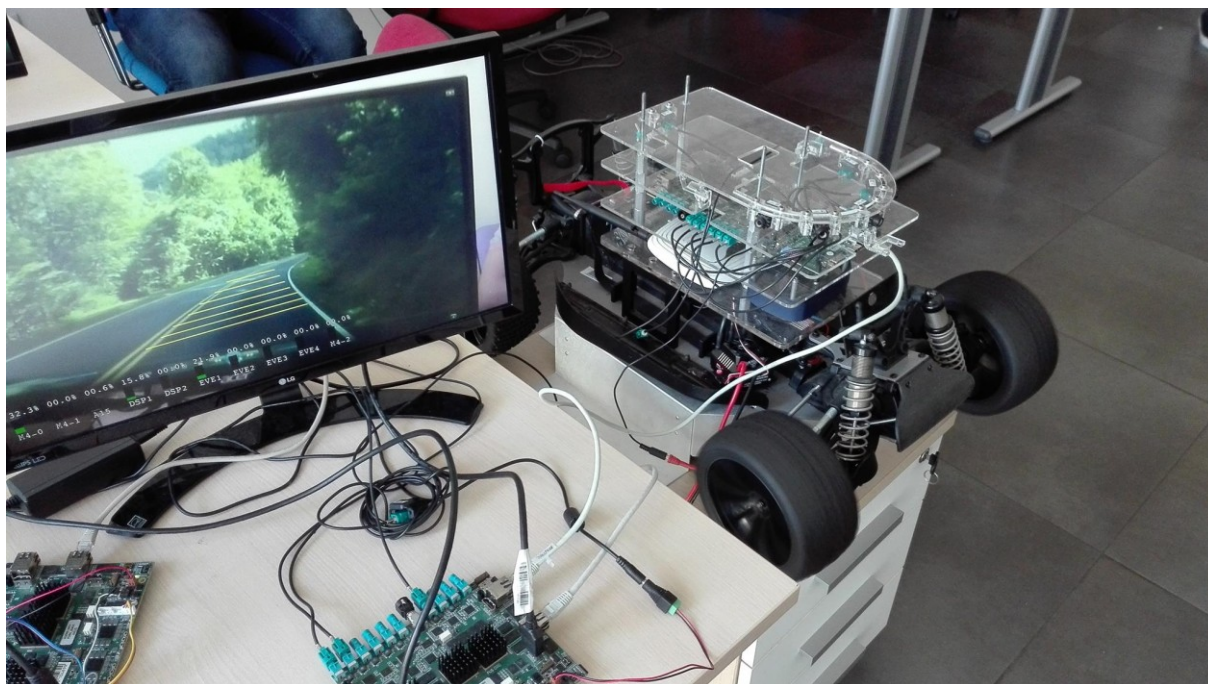
Друга функционалност која је тестирана јесте провера мрежног сигнала. Ово је највише уведено јер бежична комуникација зна да буде непоудана у зависности од покривености терена мрежом, атмосферских прилика, просторне заклоњености изазваних географским одликама терена или просто физичким кваром неког уређаја за мрежу. Будући да се испитивање радило у лабораторијским условима, ова функционалност је тестирана физичким извлачењем каблова из ALPHA плоча (ровер и базна станица), као и комутатора. Након „чупања“ кабла из улаза, провераван је механизам callback-а, као и резултати заустављања. Примећено је да се возило заиста зауставља након истека 200ms од пријема последње поруке. Враћањем мреже (тј. поновним укључивањем кабла), поновно је успостављена комуникација, тако да се индикатор прекида везе враћао у стање које значи да је све у реду, те се ровер настављао кретати при следећој детекцији саобраћајне траке. Овим је истестирана основна функционалност целе базне станице.

5.2.2 Тестирање рада ровера у зависности од рада алгоритама

Као што се види у табели, приказана су 4 основна случаја која треба да се тестирају, а која у себи садрже већи број подслучајева. Будући да су неки од случајева слични, неће се узети у обзир сви случајеви детаљно, али ће бити објашњен основни концепт тестирања сваког од њих.

Детекција саобраћајне траке је алгоритам који се извршава на другом систему на чипу ALPHA плоче, и његови резултати се користе искључиво локално, где се шаљу подаци о углу скретања на FUS систем на чипу. Било је потребно проверити основна 3 принципа која су објашњена у концепту решења, када је детектована саобраћајна трака, када није детектована и када је детектовано напуштање саобраћајне траке.

Прве провере алгоритма за управљање на основу детекције саобраћајне траке подразумевале су случајеве скретања точкова у зависности од угла кривине. Нађени су најпре слике пута који је у потпуности прав, као и слике различитих кривина. На роверу је било потребно да се окрену точкови у зависности од тога да ли је пут и колико кривудава. Затим се при успешној провери прешло на видео снимке, тако да је возило требало да прати саобраћајну траку по углу скретања точкова. Пример случајева тестирања је следећа слика.



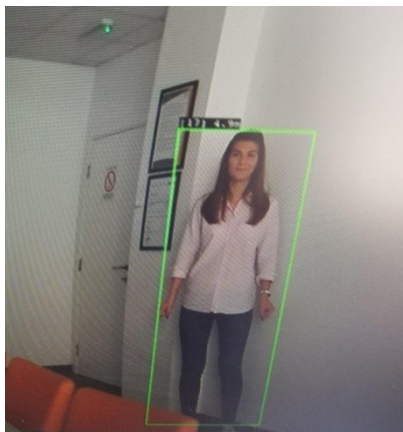
Слика 41. Скретање точкова у благој кривини удесно

Будући да алгоритам ради на 30 фрејмова у секунди, пуштање једног видеа од 5 минута доноси чак 900 тестних случајева. Ово је илустративан пример броја тестирања, јер је у поступку тестирања брзине у зависности од угла кривине проведено много више времена у укупном снимању саобраћаја, те је закључено да се возило понаша у

складу са очекиваним. Оно што је остало проверити јесте провера смањења брзине у зависности од угла кривине. Када је пут раван, брзина треба да је највећа, док се постепеним скретањем у једну страну она снижава у зависности од угла кривине. И овај механизам је проверен прво на сликама, а затим и на видео снимку.

Оно што је било неопходно проверити осим понашања када је линија детектована су случајеви када линија није детектована уопште, и када постоји напуштање саобраћајне траке. Будући да је тестирано праћење саобраћајне траке, део са напуштањем саобраћајне траке јавиће се искључиво као недостатак самог алгоритма, и то у случајевима веома оштрих кривина. Одлучено је да се у таквим случајевима настави кретање какво је и било, тј. да се угао точкава и брзина не мењају до поновне детекције саобраћајне траке. Исти принцип тестирања коришћен је и у случајевима где нема саобраћајне траке, што се претпоставком задатка избацује. Једини начин да се деси овај случај јесте несавршеност алгоритма у неком кратком временском интервалу, и одлучено је да се кретање ровера настави по израчунатим угловима од претходне детекције. Ово је емулирано тако што се руком заклони камера која снима пут, па више нема саобраћајне траке, а возило остаје у истом положају све до поновне детекције траке.

Детекција објеката на локалном роверу је тестирана на више начина. Први је била провера да ли на трећи систем на чипу стижу подаци који су детектовани на првом систему на чипу. То је проверавано додавањем исписа и коришћењем UART комуникације са персоналним рачунаром. Када је увиђено да је добро детектован објекат, кренуло се на алгоритам који треба да успорава или зауставља возило у зависности од даљине. Будући да су тренутно подаци са локалног ровера, подаци о дистанци са ровера једнаки су добијеним подацима, па тако нема потребе за прерачунавањем координата. Било је потребно проверити сва 3 случаја даљине објеката. То је рађено на више начина, снимањем паркираних аутомобила у реалним условима који се налазе на даљинама већим од 24m, када је ровер настављао своје кретање како и треба, затим снимањем пешака у самој близини, када се ровер у потпуности зауставља све док алгоритам препознаје пешака. Случај између 7 и 24m тестиран је на видео снимку возила које иде у сусрет. Како возило прилази, лагано се смањује брзина ровера, све док се потпуно не заустави када возило из супротног смера приђе на близину мању од 7m. Пример детекције пешака на малој даљини када се ровер у потпуности зауставља приказан је на следећој слици.



Слика 42. Приказ детекције пешака на малој близини када се ровер потпуно зауставља

Сви ови случајеви су тестирани на још доста примера при претраживању видеа на ком је најпогодније видети приказане резултате. Овај алгоритам ради на 15 фрејмова у секунди, те 5 минута видеа даје 450 тестних случајева.

Препознавање објеката са другог ровера има сличне начине тестирања као претходни опис, с тим да је у овом случају неопходно проверити праву даљину између објеката. Даљина је проверавана коришћењем исписа који се на рачунару читају путем серијске везе.

Четврти принцип представља реаговање у различитим ситуацијама, и потребно је одредити приоритет кретања возила у зависности од њих. Највећи приоритет има дозвола кретања из базне станице, уколико она забрањује кретање, сви други начини кретања су онемогућени. Ово повлачи са собом да прекидом конекције са базном станицом се ровер зауставља, и поновном успоставом везе наставља кретање, што је дакле следећи ниво „значајности“ кретања. Следећи ниво представља детекција објеката. Уколико је удаљеност објекта мања од 7 метара, возило мора стати. Није битно да ли је ових 7 метара дојавио локални или удаљени ровер. Такође, уколико је даљина између 7 и 24 метра, ровер мора успоравати. Најнижи приоритет кретања има детекција саобраћајне траке. Уколико ништа од нивоа изнад није детектовано, возила ће се кретати по том алгоритму. Следећа табела сумира написано:

Приоритет (од највишег ка најнижем)
Дозвола кретања базне станице
Детекција сигнала са базне станице
Детекција објеката
Детекција саобраћајне траке

Табела 5. Приоритет кретања возила у зависности од детекције алгоритама

Прављењем приоритета кретања било је лако истестирати целокупан систем. Комбиновано је више случајева и показало се да је систем добро истестиран, те да је управљање у складу са постављеном табелом.

5.3 Резултати рада

Сада када је целокупан систем развијен и истестиран, дошло се до најважнијег дела рада, а то су резултати и објашњавање зашто је овакав начин вожње користан. У овом делу биће приказани резултати и побољшања које доноси умрежавање возила у односу на то да возила нису умрежена. Направљен је низ примера и ситуација који ће показати зашто су умрежена возила много сигурнија него неумрежена, као и које последице се могу спречити умрежавањем возила и препуштањем кретања алгоритмима уместо возачу.

5.3.1 Приказ ситуација у којима ће се повећати безбедност дељењем информација преко мреже

Најчешћи примери у којима се може видети да се дешава повећање сигурности јесу ситуације где један возач не види другог, односно друго возило. То су најчешће оштре кривине, серпентине, превоји, непрегледне раскрснице. У закону Републике Србије стоји да се у оштрој кривини мора дати знак упозорења другом возачу који нас потенцијално не види, који је или звук сирене или знак светлима („блицање“). Ове ситуације ће се предупредити увођењем умрежености возила.



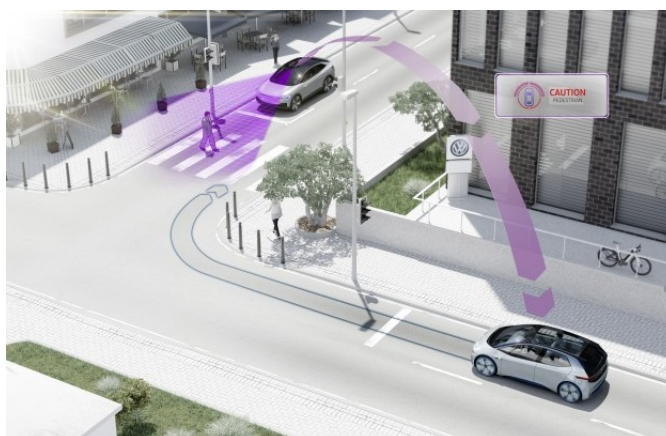
Слика 43. Пример непрегледне кривине и пример серпентине

Наредни пример доноси приказ превоја, где је по закону забрањено претицање. Као што је видљиво на слици, неадекватно је обележен коловоз, али одредба закона јасно каже да ту не сме да буде претицања управо из разлога што се не зна да ли ће неко возило наићи из супротног смера.



Слика 44. Приказ превоја и нарушавања безбедности незаконитим претицањем

Осим ових ситуација, када возач не види другог возача, односно возило, дешава се да возач не види пешака из истог разлога попут претходног. Тада ће друго возило дојавити првом да постоји пешак, те ће прво возило моћи да реагује адекватно и спречи евентуалне последице. Пример сличне ситуације дат је на следећој слици, где због непрегледности раскрснице возило јавља другом да пешак прекази преко пешачког прелаза и да реагује у складу са том информацијом.



Слика 45. Пример лоше прегледности на раскрсници

Такође, постоје неки подаци које ниједно од возила не може предвидети, и за тај случај се користи могућност заустављања кретања из базне станице. Пример за то може бити одрон на путу, где ће се возилима наредити да се зауставе. Осим одрона, примера може бити много, попут ситуација да возило треба да пропусти возило под пратњом или возило са првенством пролаза, па све до тих да се примети да је возило у неким случајевима почело да се квари, односно да се не понаша у складу са очекивањима. Следећа слика даје пример одрона на путу, где се возилу из базне станице не дозвољава да настави путовање све док се не стекну безбедни услови за то.



Слика 46. Пример одрона на путу и ситуација када из базне станице треба бити наређено заустављање возила

5.3.2 Упоредивање резултата добијених радом алгоритама са и без дељења података

Овај део рада приказаше у коликој мери претходно описане ситуације могу да се избегну адекватним кретањем и дељењем информација између возила.

Примера где дељење информација помаже у повећању сигурности има доста, и неки од тих примера биће објашњени, као и упоређени како би било уколико не би долазило до дељења података. За тестирање случајева дељења података коришћено је целокупно окружење, а за тестирање случајева где нема дељења података коришћена је само једна ALPHA плоча. Биће приказано време реакције између детектованих објеката, као и прорачуни како би се то могло одразити на стање у реалном саобраћају.

Први пример подразумева ситуацију са слике 45. Наиме, први ровер се креће путем и приближава пешаку пошто жели да скрене, али га сам не детектује. Будући да се возило креће и даље право, његова брзина је и даље велика, све док не одлучи да скрене. Узмимо претпоставку да се возило креће 36km/h, или 10m/s. Упоредивање случајева приказано је у следећој табели на наредној страни. Резултати из табеле 6 јасно дају до знања да је епилог у првом случају у најмању руку непријатно кочење, а у најгорем случају и саобраћајна несрећа са трагичним последицама по живот пешака.

Пример из табеле 7 говори о дељењу података о детектованим објектима у кривини, где једно возило иде спољном, а друго саобраћајном траком ближе центру кривине.

Случај без дељења информација	Случај са дељењем информација
Возило се креће право великом брзином. Када кривина почиње, почеће да смањује брзину непосредно испред кривине. Тек када готово скроз скрене угледаће пешака и пошто детекција пешака има већи приоритет нагло ће зауставити, јер је пешак на удаљености мањој од 7m. Нека је брзина због кривине сада 5m/s, а возилу треба растојање да се заустави, уколико је растојање мање од 2-3 метра пешак ће бити ударен, уколико је веће последице су нагло кочење и непријатност путника као и застрашивање пешака.	Возило се креће великом брзином будући да је на равном путу. Друго возило обавештава возило да на одређеном растојању од њега има пешак. То растојање се смањује будући да возило иде ка пешаку, те возило лагано успорава. Када почиње да скреће, већ се креће веома малом брзином, па је заустављање сигурно и безбедно, пешак наставља свој пут а за њим и возило.

Табела 6. Пример скретања на раскрсници са и без дељења информација

Случај без дељења информација	Случај са дељењем информација
Два возила се крећу у кривини која има нагиб улево, у истом смеру у две саобраћајне траке. Возило које је ближе центру кривине има заклоњен видик и креће се прописном брзином за кривину. Будући да је у кривини, нема преглед објеката иза кривине. Тек када изађе из кривине, схвата да је испред њега бицикл. Будући да не може да пређе у другу траку, мора нагло да кочи. Бициклиста остаје неповређен уколико се сударе два возила или ће бити ударен од стране возила.	Два возила се крећу у кривини која има нагиб улево, у истом смеру у две саобраћајне траке. Возило које је ближе центру кривине има заклоњен видик и креће се прописном брзином за кривину. Будући да је у кривини, нема преглед објеката иза кривине. Возило из десне саобраћајне траке улази шире у кривину и примећује бициклисту у левој саобраћајној траци и то дојављује другом возилу, које схвата да је бицикл близу. Почиње лагано да кочи и успева да избегне бицикл.

Табела 7. Пример кривине са две саобраћајне траке у истом смеру

Овај пример је показао како се може спречити саобраћајна несрећа узрокована лошом прегледности пута само дељењем информација два возила која истовремено улазе у кривину под различитим угловима.



Слика 47. Слика која илуструје пример из табеле 7, где је бициклиста иза кривине



Слика 48. Ситуација где у две саобраћајне траје један возач стане пешаку а други га не види и не стане

Случај без дељења информација	Случај са дељењем информација
Пример чест из градске возње. На булеварима са више трака пешак прелази улицу, возило из најближе траке стаје, док возило из средње траке због непажње или немогућности да види пешака наставља право. Епилог: трагичан случај у најчешћем случају.	Возило које је ближе тротоару види пешака који изражава намеру ступања на коловоз и стаје. Пешак наставља да прелази улицу уверен да ће и остали стати. То се и дешава, јер је возило у траци ближе тротоару дало дојаву другом возилу да успорава због пешака, те и друго возило стаје и тиме спречава трагичне последице.

Табела 8. Пример ситуације са слике 48.



Слика 49. Пример непрописног претицања на превоју

Слика 49 говори о непрописном претицању на превоју, попут слике 44. Последице упозорења да наилази друго возило од стране претицаног возила су спашени животи, као што се види у следећој табели.

Случај без дељења информација	Случај са дељењем информација
Возило иза је новије и брже од возила које је испред њега на успону, и у његовом видном пољу нема других возила. Сматра да има довољно простора да претекне то возило, те креће у претицање. Будући да је испред њих превој, други аутомобил иде својом траком и дешава се директан судар.	Возило које је иза жели да претекне возило испред, али возило испред се већ испело на врх превоја, те одатле има бољу прегледност. Будући да види возило како се приближава, дојављује да у његовој близини има детектован објект, самим тим возило иза успорава и остаје у својој саобраћајној траци. Спречен је директан судар.

Табела 9. Пример претицања на превоју



Слика 50. Возило излази из кривине и наилази на одрон

Случај без дељења информација	Случај са дељењем информација
Возило вози прописно и креће се путем. Иза једне кривине десио се одрон, те је пут блокиран. Будући да кривина није прегледна, али није ни преоштра возило се креће нормалном брзином. Не успева да заочи иако види одрон. Епилог: пробушена гума од камења на путу и разлупан аутомобил.	Возило се креће прописно. Има своје координате, човек у базној станици зна се где се налази. Оператер станице има информације да се на том делу пута десио одрон. Он ће послати команду да се то возило заустави. Тиме ће спречити да се догоди материјална штета. Након рашчишћавања терена, оператер дозвољава наставак путовања.

Табела 10. Пример корисности базне станице у случају одрона на путу

Сличан пример за одрон на путу представља и то да се изгубила веза са базном станицом. Будући да се без базне станице возило наставља кретати без једног од фактора безбедности, дешава се већ описани проблем. Престанком кретања услед недостатка везе спречава се могућност да возило наиђе на проблем.

Приказано је неколико случајева и ситуација у којима се може видети како дељење информација између возила може позитивно утицати на безбедност у саобраћају. Дати су илустративни примери који су емулирани примерима у лабораторијским условима. Сваки од ових примера је јасан показатељ да је умреженост возила нешто што доноси само корист што се тиче сигурности. Примери означени црвеном бојом у таблицама испитивани су на једној ALPHA плочи, док се у другим случајевима користио цео систем. Примећено је знатно раније реаговање у разним ситуацијама, те су резултати рада изузетно корисни, и моћи ће да се користе и проширују у реалним случајевима.

6. Закључак

У раду је приказан пример начина управљања возилом у зависности од алгоритама детекције саобраћајне траке и детекције објеката, али и размене информација између два објекта. Такође, приказан је и модел базне станице која има могућност да контролише целокупан систем, и тиме додатно повећа безбедност.

Резултати овог рада недвосмислено показују да ће се у скоријој будућности наћи потпуно аутономна возила, која ће на основу прикупљања информација и дељења информација са осталим учесницима у саобраћају моћи безбедно да превозе путнике са једног места на друго. Човеков утицај у вожњи неће бити главни, сада ће целокупно кретање бити остављено аутомобилима, а тежиће се додатном побољшању безбедности и брзине, како би човек могао време које је проводио као члан пута искористити на најбољи могући начин.

Још једна ствар која приказују резултати су знатно проширење „видика“ која аутомобили добијају разменом података са осталим учесницима у саобраћају, било возилима или инфраструктуром.

Рад представља пример основне идеје аутономне вожње, користећи један од начина управљања и концентришући се на проблем повећања безбедности дељењем информација свих учесника у саобраћају. Комплекснија решења која ће бити имплементирана у пракси даће само додатно проширење тезама изнетим у раду и потврдити смер даљег развоја аутономне вожње. То ће се решавати развојем алгоритама детекције потенцијалних опасности у саобраћају, хардверских платформи, развојем мрежа, начина комуникације између аутомобила и даљим развојем људског размишљања.

7. Литература

- [1] *Numbers of vehicles in use worldwide*,
<https://www.statista.com/statistics/281134/number-of-vehicles-in-use-worldwide/>
 [Доступно 24.09.2018.]
- [2] *Levels of driving automation are defined in new SAE International Standard J3016*,
https://www.sae.org/standards/content/j3016_201401/ [Доступно 24.09.2018.]
- [3] *Audi says 2019 A8's Level 3 self-driving tech capable of doubling speed*,
<https://www.cnet.com/roadshow/news/audi-says-2019-a8-level-3-self-driving-tech-capable-of-doubling-speed/> / [Доступно 24.09.2018.]
- [4] *TDA2 SoC Processors with Options for Vision, Graphics and Video Acceleration for ADAS Applications*, <http://www.ti.com/product/TDA2> [Доступно 25.09.2018.]
- [5] *RT-RK presents automotive machine vision ALPHA reference board on Texas Instruments's SoCs*, <http://www.rt-rk.com/news/195-rt-rk-presents-automotive-machine-vision-alpha-reference-board-on-texas-instruments-socs> [Доступно 24.09.2018.]
- [6] *EVE*, http://processors.wiki.ti.com/index.php/EVE_soc [Доступно 25.09.2018.]
- [7] *PCI Express (PCIe)*, <https://www.lifewire.com/pci-express-pcie-2625962> [Доступно 24.09.2018.]
- [8] *Processor SDK for TDAx ADAS SoCs - Linux and TI-RTOS Support*,
<http://www.ti.com/tool/PROCESSOR-SDK-TDAX> [Доступно 25.09.2018.]
- [9] *Основи алгоритама и структура DSP 2*, Миодраг Темеринац, Жељко Лукач, Иван Каштелан, Факултет техничких наука Нови Сад, Србија, 2016.