

Пример архитектуре модула за машинску визуелну перцепцију околине у системима за помоћ у вожњи и аутономном кретању ВОЗИЛА

Радомир Цакула, Игор Колак, Драган Цуца, Иван Решетар

Садржај — У овом раду приказан је пример архитектуре реализованог модула за машинску перцепцију околине у систему за помоћ у вожњи. Приказани су неки примери напредних система за помоћ у вожњи који су развијени од стране водећих светских компанија у том пољу. Приказане су тенденције развоја сличних система у свету, као и реализација конкретне платформе на којој су/ће бити имплементирани и развијени алгоритми за помоћ и у вожњи. Наведени алгоритми су објашњени у раду.

Кључне речи — Аутомотив, помоћ у аутономном кретању возила.

система, као и алгоритми по којима су реализовани, биће детаљније објашњени у раду. Иза сваког од наведених решења за помоћ у вожњи стоје сложени електронски системи и комплексни алгоритми. Додатно, концепт сигурности електронских склопова у аутомобилској индустрији намеће строго стандардизоване процедуре развоја, испитивања и квалификације по техничким прописима пре него што се систем може уврстити у опрему аутомобила.

I. УВОД

НАПРЕДНИ системи за помоћ у вожњи (енгл. *Driver Assistant*) постају део стандардне опреме у аутомобилској индустрији и бележе највећи раст броја примена у аутомобилској електроници последњих година, са циљем повећања безбедности у саобраћају и олакшање вожње возачу. Систем прима информације са различитих извора (слика са спољашњих/унутрашњих камера, радар, лидар, ултразвучни сензори), обрађује добијене информације, на основу њих доноси одлуку о промени стања возила или само упозорење за возача, кад су у питању једноставнији асистенти у вожњи.

На тржишту се могу наћи разна решења за аутоматско паркирање, аутоматску контролу усмеравања снопа светлости фарова, навигацијски систем преко GPS-а, асистент за ноћну вожњу, систем са избегавање судара, систем за откривање поспаности возача, систем за посматрање возача, систем за детекцију пешака, систем за препознавање саобраћајних знакова, систем за асистирање при скретању у лево, итд. Неки од ових

II. ТЕНДЕНЦИЈЕ У СВЕТУ И ДОСАДАШЊИ ДОМЕТИ У ПОЉУ АУТОНОМНЕ ВОЖЊЕ

Следи кратак преглед напредних система за помоћ у вожњи реализованих од стране водећих светских компанија у том пољу.

A. Ауди

Аутоматски пилот је постао стварност захваљујући сарадњи Ауди-ја и аустријске компаније TTTech. Аудијев систем за помоћ у вожњи по имену zFAS, реализован је са компонентама TTTech-а које гарантују сигурност комуникације у реалном времену преко проширеног мрежног протокола, тзв. TTEthernet (eng. Time-Triggered Ethernet). Први пута у историји овакав систем је тестиран 2009. године. у пустињи Бонвил, Јута, САД. и достигнута је брзина вожње аутопилота од 209 km/h, да би већ 2013. године Аудијев аутомобил са системом аутономне вожње zFAS добио дозволу савезне државе Невада, САД, за тестну вожњу са ауто пилот функцијом у условима саобраћајне гужве, где је успешно демонстрирана вожња у таквим условима, као и функција аутоматског паркирања користећи ласер и ултразвучне сензоре.

Развој система је настављен, а важну улогу има тим инжењера института RT-PK у Новом Саду.

B. Denso

Јапанска компанија Денсо у сарадњи са Тојотом је развила напредни сигурносни систем у виду прилагодљивог темпомата, који мери растојање возила испред и одржава га константним. Уколико возило испред

Р. Р. Цакула, Истраживачко развојни институт RT-PK, Народнoг фронта 23а, 21000 Нови Сад, Србија (телефон: 381-21-4801118; e-mail: radomir.dzakula@rt-rk.com).

И. А. Решетар, Истраживачко развојни институт RT-PK, Народнoг фронта 23а, 21000 Нови Сад, Србија (телефон: 381-21-4801172; e-mail: ivan.resetar@rt-rk.com).

Д. Н. Цуца, Истраживачко развојни институт RT-PK, Народнoг фронта 23а, 21000 Нови Сад, Србија (телефон: 381-21-4801118; e-mail: dragan.cuca@rt-rk.com).

И. З. Колак, Истраживачко развојни институт RT-PK, Патре 5, 78000 Бања Лука, Република Српска, БиХ (телефон: 381-21-4831325; e-mail: igor.kolak@rt-rk.com).

кочи, смањење растојања се детектује и успорава се аутоматски и возило у коме се налази темпомат.

Денсо има развијен и систем за детектовање белих линија на путу, који помаже возачу да возило одржи положај кретања у средишту између белих линија којима је означен пут.

Оба наведена система су веома корисна при вожњи на аутопутевима.

C. BMW

Баварски гигант BMW не заостаје у пољу иновација и примени система за помоћ у вожњи. Опције које нуди тренутно су систем интелигентног паркирања, интелигентне вожње и интелигентне видљивости.

Пакет опреме за интелигентно паркирање пружа подршку маневрисања на уским просторима при паркирању; предњи и задњи контролери растојања, користе ултразвучне сензоре за праћење подручја око возила и упозоравају на потенцијалне препреке и опасности. Задња асистент камера и приказ погледа одозго у реалном времену омогућава да се види шта се дешава око возила. Аутомобил тражи слободан простор и аутоматски се паркира.

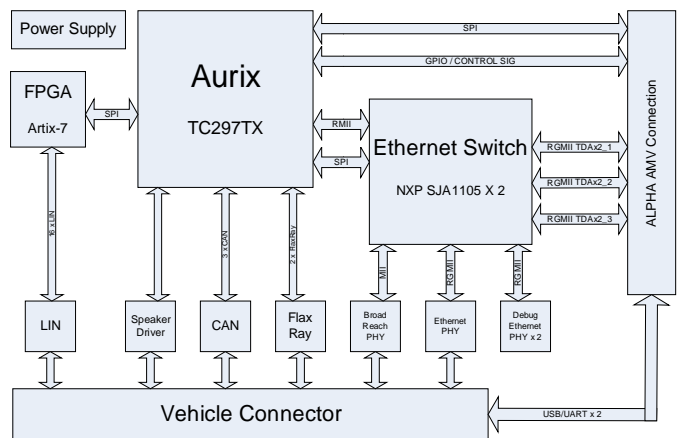
Пакет опреме за интелигентну вожњу не само да одржава брзину, већ користи систем камера и радар и аутоматски одржава безбедно растојање од возила испред. Систем упозорава ако ненамерно дође до одступања од кретања и промене правца у односу на беле линије на путу. Поседује и систем за упозорење ако се возило приближава из правца слепе тачке и улива додатну сигурност при промени траке.

Пакет интелигентне видљивости садржи аутоматску контролу усмеравања снопа светлости фарова, оптимизовање снопа светлости ради спречавања заслепљивања наспрамних учесника саобраћаја, као и инфрацрвене камере за детекцију и додатно осветљавање и приказ на монитору командне табле потенцијалних препрека на путу.

III. ПРЕГЛЕД ХАРДВЕРСКЕ СТРУКТУРЕ СИСТЕМА ЗА АУТОНОМНО КРЕТАЊЕ ВОЗИЛА

Хардверска структура прототипа система за аутономно кретање возила, развијена у научно-истраживачком институту РТ-РК у Новом Саду, састоји се од два логичко функционална блока, који су уједно и физички раздвојене целине које се повезују конектором.

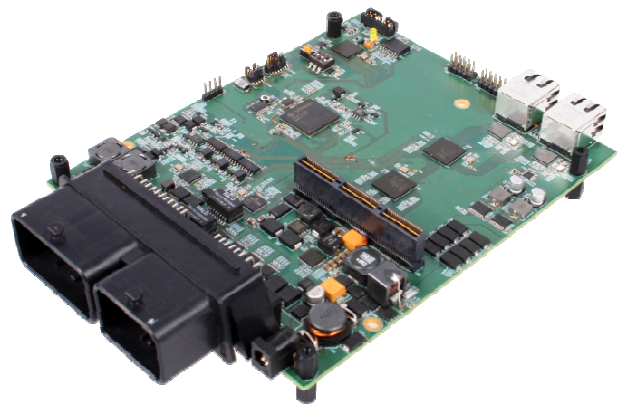
Један блок представља главна логичко управљачка јединица (слика 1.) која преноси команде преко неких од интерфејса (CAN, FlexRay, LIN) ка актуаторским модулима возила, мотору, управљачу, кочницама, контролном блоку за фарове итд. Одлуку о командама ова јединица доноси на основу обрађених података добијених од разних типова сензора постављених на различитим местима на шасији возила.



Сл. 1. Блок шема ALFA ECU главне логичко управљачке јединице

Главни процесор на овом модулу је производ фирме Инфинион TC297TX (Aurix), који интегриса 32-битни RISC процесор, модул за дигиталну обраду сигнала (DSP), меморију и периферне интерфејсе за CAN, FlexRay и сл. преко којих комуницира и управља са актуаторским и сензорским модулима у аутомобилу. За спрегу процесора са подсистемима за које интерфејси нису интегрисана у самом процесору користи се синхронизовани мрежни разводник (eng. Time-Triggered Ethernet switch) преко кога је изведен интерфејс према другом, за овај рад значајнијем модулу, јединици за машинску визуелну перцепцију.

Сва примењена интегрисана кола задовољавају стандарде робусности и интегрису градивне и функционалне блокове неопходне за примену концепта сигурности у аутомобилској индустрији.



Сл. 2. Изглед ALFA ECU главне логичко управљачке јединице

Други поменути блок, модул за машинску визуелну перцепцију околине (слика 3.), има улогу да снабдева са подацима са камера главну јединицу која на основу њих командује возилом. У овој јединици се врши обрада сигнала са свих камера, а добијени резултати, композитне слике и видео стримови, изоловане препреке и сигнали упозорења се преко мрежног интерфејса шаљу главној јединици за управљање возилом и тзв. информативно-забавном подсистему (infotainment).

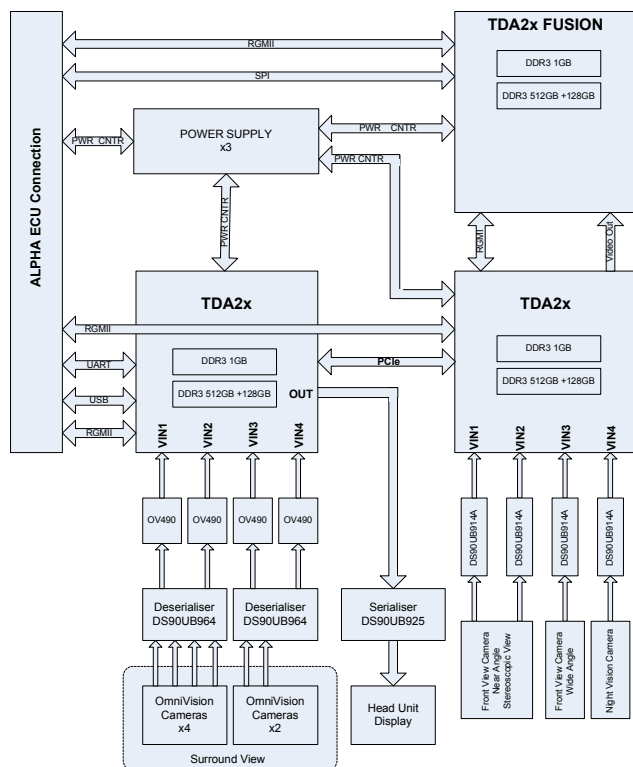
Обе јединице су физички раздвојене и независне у

раду, у прототипској верзији уређаја, ради лакшег развоја и, још важније, декомпозиција система раздвајање извора ризика дисфункционалности омогућава снижавање захтеваног нивоа интеграције концепта сигурности по деловима система (*eng. ASIL- Automotive Safety Integration Level*).

IV. ПРЕГЛЕД ХАРДВЕРСКЕ СТРУКТУРЕ РЕАЛИЗОВАНОГ МОДУЛА ЗА МАШИНСКУ ВИЗУЕЛНУ ПЕРЦЕПЦИЈУ ОКОЛИНЕ У СИСТЕМИМА ЗА ПОМОЋ У ВОЖЊИ (АЛФА АМВ МОДУЛ)

Блок шема са слике 3. заснована је на видео-процесорској платформи компаније Texas Instruments. Главна намена хардверске архитектуре је да обезбеди извршавање следећих алгоритама:

1. Поглед из птичије перспективе на аутомобил
2. Препознавање знакова
3. Препознавање пешака
4. Аутоматско сигурносно кочење
5. Прилагођење брзине кретања
6. Детекција блиских објеката
7. Помоћ приликом паркирања
8. Снимање параметара вожње
9. Праћење (мониторинг) возача
10. Праћење беле линије на путу
11. Прилагођење предњих светала
12. Помоћ при паркирању приколице
13. Помоћ при ноћној вожњи



Сл. 3. Блок шема АЛФА АМВ модула за машинску визуелну перцепцију околине

Централна компонента система АЛФА АМВ је видео процесор TDA2x који је високо оптимизован за апликације за напредне системе помоћи возачима током вожње. На АМВ плочи налазе се три таква видео процесора. Међусобно су повезани преко RGMII интерфејса ради размене података и синхронизације а прерасподела ресурса и оптерећења процесора (*eng. Load balancing*) се врши кроз додатни PCIe интерфејс.

За пријем сигнала са камера задужена су два процесора, а трећи се користи за интергацију композитних слика и видеа са графичком представом резултата читавања сензора, исцртаним изолованим препрекама и сл.

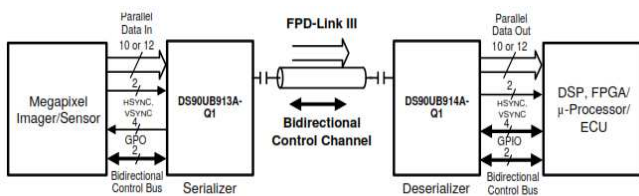
На систем се може прикључити до десет камера истовремено.

Један видео процесор задужен је за формирање погледа из птичије перспективе на аутомобил. За путничка возила користе се 4 камера које су распоређене са предње, задње и бочних страна аутомобила. За већа возила као што су камиони или радне машине користи се 6 камера. Овај процесор игра главну улогу у функционисању АМВ плоче. Камере које се користе за Поглед из птичије перспективе имају CMOS Сензор OV10635 произвођача OmniVision који даје слику у формату 1280x1080 и ISP (*eng. Image Sensor Processor*) који ради делимичну обраду слике, коригује сенку на слици, коригује мртве пикселе, интерполира боје и елиминира шум на слици. Након обраде, избацује слику у формату 1280x720. Тако обрађена слика улази у серијализатор DS90UB913 и преко коаксијалног кабла преноси сигнал на десеријализатор DS90UB964 који се налази на АМВ плочи. Десеријализатор подржава улаз за 4 камере резолуције 1280x720 при 30/60Hz-а. Серијски запаковане улазне сигнале са камера десеријализатор претвара у 2 паралелна интерфејса CSI-2 (*eng. Camera Serial Interface*), где сваки подржава пренос података до 4x1,6Gbit/s, и то различите видео формате RAW, YUV, RGB и различите резолуције. Излаз десеријализатора се повезује на улаз OV490, који улазни видео претвара у YUV и две слике пакује у један бафер. Серијализатор у камери и десеријализатор на АМВ омогућују комуникацију преко коаксијалног кабла у оба смера. Тиме је омогућено да се камера подеси да ради у одређеним режимима и да се прочитају регистри са сензора. Приликом укључивања система, OV490 се на почетку конфигурише из FLASH меморије. Потом OV490 конфигурише десеријализатор, а преко њега и рад камера. Тако да све камере у исто време, синхроно врше слање слике. То је потребно обезбедити да би алгоритам слику са камера могао спојити у једну. Видео процесор има 3 видео улаза (VIP - *eng. video input port*), чиме се наметнуло ограничење да се 6 камера не могу директно повезати на VIP улазе од TDA2x. Сваки VIP се може конфигурирати да ради 8/16/24 битном режиму, тако да у комбинацији са десеријализатором (који 4 серијска видео улаза пакује у 2 паралелна) и OV490 (који саставља слике) буде омогућено повезивање 6 камера на 3 VIP порта. Овим је направљено уско грло у систему где

рецимо није могуће користити камере веће резолуције 2Mp @ 60f/s.

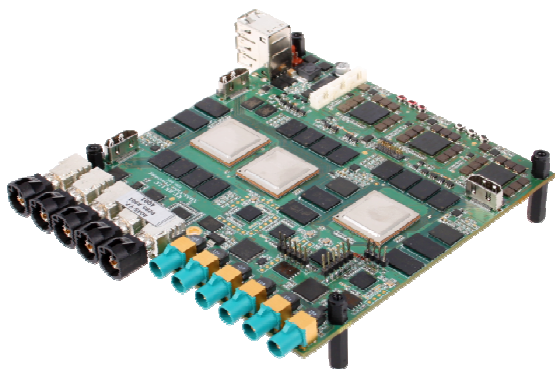
После обраде видео сигнала, SC шаље обрађене податке на ALFA ECU, која уз помоћ имплементираних алгоритама шаље одговарајуће команде ка централним јединицама аутомобила.

На VIP улазе другог TDA2x видео процесора (FFN-Front View Camera Night Vision) су повезана 4 десеријализатора DS90UB914 на које се повезују камере. Компонента је оптимизирана у смислу броја конекција које су потребне да би се повезала са камером. Једним коаксијалним каблом је омогућено да се приме видео подаци, да се пошаљу команде за подешавање и да се прочитају подаци из регистара CMOS сензора. Одговарајућим филтрирањем одвојени су сигнали од напајања камере. Омогућен је пријем видео сигнала у 12-битној резолуцији до 75MHz/bit. На слици 4. приказан је блок дијаграм повезивања камере (CMOS сензора са серијализером) са десеријализатором и даље, TDA2x видео процесором. Паралелни видео формат из десеријализера улази у VIP улазе на процесору, где се после обраде шаље на ALFA ECU плочу.



Сл. 4. Блок шема дела АЛФА AMV модула који приказује повезивање камера, десеријализатора и TDA2x видео процесора

Трећи видео процесор (FUS-fusion) служи за спајање података са различитих видео улаза и сензора. Он обезбеђује да свака слика са камере има придружено време кад је створена, како би се приликом комбиновања више слика за неке одређене апликације обезбедило временско поравнавање података. Ако се жели добити 3D приказ аутомобила са погледом одозго и да се укључе информације са сензора за паркирање, онда FUS прикупи обрађене податке из SC блока и са ултразвучних сензора за паркирање, састави их и прикаже на монитору возача као 3D слику аутомобила са околином.

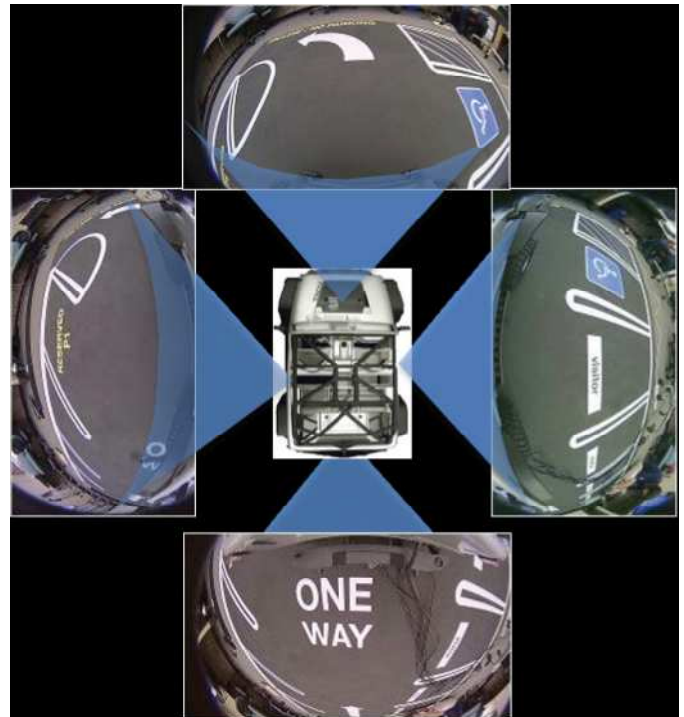


Сл. 5. Изглед АЛФА AMV модула

V. АЛГОРИТМИ

A. Top View

Поглед из птичије перспективе (*eng. surround view, top view, around view*) је све чешће коришћена технологија за напредну помоћ возачу при вожњи. Такав систем помаже возачу да сигурно паркира аутомобил тако што ће имати поглед са висине у кругу од 360 степени око возила. Уобичајено, један такав систем користи од четири до шест камера постављених око возила. У случају четири камере, оне се постављају на сваку страну возила, једна на браник напред, једна на браник назад и по једна у ретровизоре, са сваке стране аутомобила. Камере, да би ухватиле целу страну возила, морају имати широкоугаона сочива (*eng. fish-eye lens*). Слика 6. илуструје један такав систем са четири камере и одговарајућим широкоугаоним сликама ухваћеним са сваке камере.

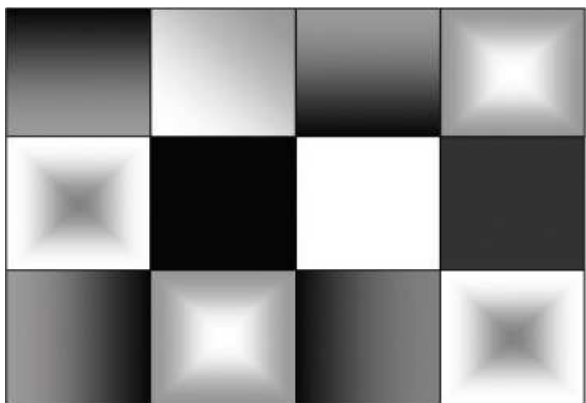


Сл. 6. Сlike ухваћене са четири камере постављене око возила

Сlike са камера долазе до алгорита који те слике спаја у једну композитну слику и приказује је возачу у реалном времену током паркирања.

Сам алгоритам генерисања погледа из птичије перспективе пролази кроз пар фаза. Прва фаза је геометријско поравнавање, а друга је синтеза композитне слике. Геометријско поравнавање обухвата исправљање широкоугаоне дисторзије и конверзију слике у типичну слику из птичије перспективе. У другој фази се од четири слике које су геометријски исправљене, креира композитна слика која представља слику из птичије перспективе. Још један важан корак при креирању крајње слике је фотометријско поравнавање и оно се дешава у склопу геометријског поравнавања. Оно коригује различита осветљења као и разлике у нијансама боја суседних слика и тиме олакшава њихово глатко спајање.

Геометријско поравнавање, познато као калибрација, је кључна компонента оваквог система. Овај корак у креирању слике из птичије перспективе садржи корекцију широкоугаоних сочива и трансформацију перспективе. За корекцију широкоугаоних сочива, обично се користи инверзна функција радијалне дисторзије. Упоредо са корекцијом, креирају се четири трансформационе матрице, свака за по једну камеру, које ће се користити при калибрацији система. На слици 7. приказана је типична калибрациона матрица. При калибрацији та матрица се поставља око возила тако да две суседне камере „виде“ исту калибрациону матрицу.



Сл. 7. Калибрациона матрица

На сваку слику на коју је примењена функција за корекцију широкоугаоних сочива, примењује се и функција за трансформацију перспективе. Детектују се преклапања слика суседних камера на калибрационој матрици, издвајају се углови преклапања и онда се креира *look-up* табела на основу које ће се вршити преклапања слика са суседних камера када се уклоне калибрационе матрице. После успешног геометријског поравнавања следи фотометријско поравнавање. Услед различитог осветљења, различитих фокуса камера и баланса боја слике добијене са суседних камера имају упадљиву разлику. Циљ фотометријског поравнавања је да се те разлике усредње и да крајња слика буде подједнако осветљена.



Слика 8. Композитна слика – поглед из птичије перспективе

У синтези композитне слике користе се четири слике које су прошле геометријско поравнавање и прерачуната *look-up* табела, тако да се пиксели који су заједнички за суседне камере претварају у један пиксел на композитној слици. Крајњи резултат се може видети на слици 8.

B. Driver Monitor

Камера која се налази на волану и усмерена је ка возачу служи да би се добила слика возача и да би се над њом могла урадити обрада региона од интереса. Популарно названи *driver monitor* је алгоритам који детектује будност и трезвеност возача. Алгоритам користи податке добијене из истраживања спроведених над возачима о њиховом психо-физичком стању. Најважнији региони од интереса су очи возача. Праћењем очију може се детектовати поспаност након чега се возач опомиње светлосним и звучним сигнаlima. Уколико возач не обраћа пажњу и не чини адекватне акције, систем може преузети иницијативу и почети кочити.

Овакав систем се први пут појавио код Тојоте 2006. године. Многи водећи произвођачи аутомобила имају своје системе који поред камере користе и додатне сензоре како би што боље одредили психо-физичко стање возача те тако осигурали адекватну реакцију и помоћ при вожњи.

VI. ЗАКЉУЧАК

Видимо да је аутомобилска индустрија још од Фордове покретне траке стално у успону и да ће се и у будућности све више улагати у овакве сигурносне системе. Овакав комплексан систем је и хардверски и софтверски веома захтеван чак и у демо фази. Да би се уопште кренуло у масовну производњу треба пуно стандарда испоштовати, урадити тестирања на отказе и потврдити робусност система. Самим тим, ова област је неистражено и отворено поље у којем има довољно простора за напредак и иновативност.

ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад је делимично финансиран до стране Министарства за науку и технологију Републике Србије, на пројекту технолошког развоја број TP 32014.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] V. Appia; H. Hariyani; S. Sivasankaran; S. Liu, "Surround view camera system for ADAS on TI's TDAx SoCs", Application Note, 2015
- [2] Infineon Technologies AG, "AURIX, TC29x B-Step 32-Bit Single-Chip Microcontroller", User Manual, 2014.
- [3] Y. Xiong; K. Turkowski "Creating Image-Based VR Using a Self-Calibrating Fisheye Lens", Cupertino, CA: Computer Vision and Pattern Recognition. ISBN 0818678224, 1997
- [4] J. Kannala; S. S. Brandt, "A generic camera model and calibration method for conventional, wide-angle, and fish-eye lenses", Oulu Univ., Finland: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. PMID 16886867, 2006
- [5] Texas Instruments, "TDA2x SoC for Advanced Driver Assistance Systems Silicon Revision 1.1", Technical Reference Manual, 2015

ABSTRACT

This paper describes an example of architecture of modules for machine perception of the environment in the system for driving assistance. There is shown some examples of advanced driving assistance that have been developed by the world's leading companies in this field. Also it shows the trends of development of similar systems in the world, and the realization of concrete platforms on which they are/will be implemented and developed algorithms for such purposes. Those algorithms are explained in the paper.

Architecture of module for machine visual perception of the environment in systems for driving assistance and autonomous movement of vehicles

Radomir Džakula, Igor Kolak, Dragan Cuca, Ivan Rešetar