|  |
| --- |
| Роберт Шандор  **Реализација софтверске магистрале за дистрибуцију видео сигнала у возилу на „Adaptive AUTOSAR“ платформи**  МАСТЕР РАД  Нови Сад, 2019 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Редни број, **РБР**: | |  | |
| Идентификациони број, **ИБР**: | |  | |
| Тип документације, **ТД**: | | Монографска документација | |
| Тип записа, **ТЗ**: | | Текстуални штампани материјал | |
| Врста рада, **ВР**: | | Дипломски – мастер рад | |
| Аутор, **АУ**: | |  | |
| Ментор, **МН**: | |  | |
| Наслов рада, **НР**: | |  | |
| Језик публикације, **ЈП**: | | Српски / ћирилица | |
| Језик извода, **ЈИ**: | | Српски | |
| Земља публиковања, **ЗП**: | | Република Србија | |
| Уже географско подручје, **УГП**: | | Војводина | |
| Година, **ГО**: | |  | |
| 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) | |  | |
| Научна област, **НО**: | | Електротехника и рачунарство | |
| Научна дисциплина, **НД**: | | Рачунарска техника | |
| Предметна одредница/Кqучне речи, **ПО**: | |  | |
| **УДК** | |  | |
| Чува се, **ЧУ**: | | У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад | |
| Важна напомена, **ВН**: | |  | |
| Извод, **ИЗ**: | |  | |
| Датум прихватања теме, **ДП**: | |  | |
| Датум одбране, **ДО**: | |  | |
| Чланови комисије, **КО**: | Председник: |  |
|  | Члан: |  | Потпис ментора |
|  | Члан, ментор: | Проф. Др. Милан З. Бјелица |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Accession number, **ANO**: | |  | |
| Identification number, **INO**: | |  | |
| Document type, **DT**: | | Monographic publication | |
| Type of record, **TR**: | | Textual printed material | |
| Contents code, **CC**: | | Bachelor Thesis | |
| Author, **AU**: | |  | |
| Mentor, **MN**: | |  | |
| Title, **TI**: | |  | |
| 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**: | |  | |
| Publisher, **PB**: | | Author’s reprint | |
| Publication place, **PP**: | | Novi Sad, Dositeja Obradovica sq. 6 | |
| Physical description, **PD**: (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes) | |  | |
| Scientific field, **SF**: | | Electrical Engineering | |
| Scientific discipline, **SD**: | | Computer Engineering, Engineering of Computer Based Systems | |
| Subject/Key words, **S**/**KW**: | |  | |
| **UC** | |  | |
| Holding data, **HD**: | | The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia | |
| Note, **N**: | |  | |
| Abstract, **AB**: | |  | |
| Accepted by the Scientific Board on, **ASB**: | |  | |
| Defended on, **DE**: | |  | |
| Defended Board, **DB**: | President: |  |
|  | Member: |  | Menthor's sign |
|  | Member, Mentor: |  |  |

**Захвалност**

**Садржај**

[1. Увод 1](#_Toc20065545)

[2. Теоријске основе 4](#_Toc20065546)

[2.1 *AUTOSAR* 4](#_Toc20065547)

[*2.1.1* *AUTOSAR* *Classic* 5](#_Toc20065548)

[*2.1.2* *AUTOSAR Adaptive* 6](#_Toc20065549)

[2.1.2.1 *Execution* *Management* 9](#_Toc20065550)

[2.1.2.2 *State* *Management* 9](#_Toc20065551)

[2.1.2.3 *Communication* *Management* 9](#_Toc20065552)

[3. Концепт решења 10](#_Toc20065553)

[4. Програмско решење 11](#_Toc20065554)

[5. Резултати 12](#_Toc20065555)

[6. Закључак 13](#_Toc20065556)

[7. Литература 14](#_Toc20065557)

**Списак слика**

Слика 2.1 Детаљни приказ чланова *AUTOSAR* конзорцијума [7] 5

Слика 2.2 Приказ комуникације у *SOA* адаптивне платформе [12] 7

Слика 2.3 Преглед доступних компоненти адаптивне платформе [12] 8

Слика 2.4 Дијаграм прелаза стања приликом покретања *ЕМ* 9

**Списак табела**

**No table of figures entries found.**

**Скраћенице**

**ADAS – A**dvanced **D**river-**a**ssistance **s**ystems – Напредни системи за помоћ возачу у вожњи

**API** – **A**pplication **P**rograming **I**nterface – апликативна програмска спрега/интерфејс

**ARA** – **A**UTOSAR **R**untime for **A**daptive **A**pplications – *AUTOSAR* извршно окружење за апликације адаптивне платформе

**АUTOSAR - AUT**omotive **O**pen **S**ystem **A**rchitecture – Стандард отворене архитектуре у аутомобилској индустрији

**CM** – **C**ommunication **M**anagement

**EM – E**xecution **M**anagement

**LiDAR – Li**ght **D**etection **a**nd **R**anging – детекција објеката и њихове удаљености путем светлосног снопа

**OEM** – **O**riginal **E**quipment **M**anfuacturer – произвођач оригиналне опреме

**POSIX – P**ortable **O**perating **S**ystem **I**nterface – Интерфејс преносивог оперативног система

**RADAR – Ra**dio **D**etection **a**nd **R**anging – детекција објеката и њихове удаљености путем радио таласа

**RPC** - **R**emote **P**rocedure **C**all – Позивање функционалности удаљеног модула

**RTOS** *-* **R**eal-**t**ime **o**perating **s**ystem – оперативни систем за рад у реалном времену

**SOA** – **S**ervice **O**riented **A**rchitecture – сервисно оријентисана софтверска архитектура

**SM** – **S**tate **M**anagement

**SoC - S**ystem **o**na **C**hip – систем заснован на чипу

# Увод

Решавајући бројне изазове аутономне вожње, аутомобилска индустрија данашњице се у многоме ослања на помоћ напредних алгоритама за помоћ возачу (енг. *ADAS -**Advanced Driver-assistance systems*). Иако се *ADAS* алгоритми разликују по степену безбедности који морају да испуне, свака информација од значаја мора правовремено бити достављена, како самом систему који управља возило, тако и самом путнику. Функционална безбедност [1] самих алгоритама се значајно разликује. Тако, одређени алгоритми могу бити информативног типа, попут оних који приказују окружење возила у току његовог мировања [2], док са друге стране постоје алогритме за избегавање судара [3], чије отказивање може имати катастрофалне последице по путнике. Велики број оваквих алгоритама се развија и тестира у контролисаним лабораторијским условима. Ипак, крајњи циљ како произвођача возила, тако и твораца ових алгоритама, јесте њихово извршавање на платформама специјализованим за аутономну вожњу.

Како би извршавање сваког од ових алгоритама било оптимално, потребно је на циљним платформама извршити дистрибуцију послова, попут прикупљања, припреме и обраде информација од интереса. Овим се уводи јасна граница између различитих сензора, попут камера, ласерских (енг. *LiDAR – Light Detection and Ranging*) и радио даљинометра (енг. *RADAR – Radio Detection and Ranging*), уређаја који преводе сигнал из аналогног у дигитални и циљне платформе која врши обраду сигнала и екстрахује корисне информације из истог.

Овакав приступ омогућује оптималан рад и уску специјализацију сваке од компоненти у систему. Ипак, иако су перформансе сваке од компоненти значајно побољшане, архитектура система је хетерогена и као један од већих проблема истиче се дистрибуција података. Произвођачи хардверских компоненти тренутно немају униформни одговор на овај проблем, у својим решењима ослањају се на хардверске магистрале великих брзина преноса података, које најчешће прати програмска подршка затвореног кода.

Ипак, зарад олакшавања развоја и стандардизације софтвера за аутономну вожњу стварају се конзорцијуми који окупљају велике произвођаче аутомобила и аутомобилске индустрије. Један такав конзорцијум представља *AUTOSAR* [4]*,* који окупља произвођаче аутомобила као што су *BMW, Volkswagen, Toyota, Chrysler* и произвођаче опреме као што су *Bosch, Continental, Siemens VDO.* Циљ овог конзорцијума јесте развој стандарда којег сваки произвођач мора да се придржава, али задржава слободу у имплементацији свог решења. Један од стандарда који овај конзорцијум развија, *Adaptive AUTOSAR*, тиче се платформи које имају велику процесну моћ и намењене су управо за ADAS алгоритме.

Како је овај стандард још увек у настајању, те захтеви који морају бити испуњени нису строго дефинисани, овај рад представља једно могуће решење дистрибуције видео сигнала у оквиру *AUTOSAR Adaptive* платформе. Рад се ослања на употребу софтверске магистрале која је реализована апстракцијом етернет (енг. *ethernet*) магистрале и апстракције платформе која врши прикупљање видео сигнала, зарад вршења дистрибуције истог кроз остатак система. Као циљна платформа, употребљена је Алфа [5] развојна плоча (енг. *ALPHA Automotive Development platform)*, заснована на *TDA2x* систему на чипу (енг. *SoC, System on a Chip*), компаније *Texas Instruments*.

Овај рад је организован у следећих 5 целина:

1. **Теоријске основе –** преглед *AUTOSAR* стандарда и *AUTOSAR Adaptive* платформе. Опис магистрала, као и поређење софтверских и хардверских магистрала. Опис хардверске платформе на којој је тестирано идејно решење.
2. К**онцепт решења -** поглавље даје увид у реализоване модуле софтверске магистрале. Преглед и опис слојева за апстракцију хардверске платформе.
3. **Програмско решење –** реализација модула софтверске магистрале.
4. Т**естирање и валидација –** поглавље даје увид у перформансе реализоване софтверске магистрале као и њену функционалну употребу у два различита сценарија.
5. **Закључак –** ово поглавље даје преглед реализоване софтверске магистрале, резултата који су остварени, као и кораци за даље унапређење софтверске магистрале.

# Теоријске основе

Ово поглавље даје увид у неопходне теоријске основе неопоходне за разумевање реализованог решења. Посебна пажња посвећена је софтверској платформи *AUTOSAR Adaptive* на којој је заснована ова реализација софтверске магистрале за дистрибуцију видео сигнала. Како је *AUTOSAR Adaptive* платформа сервисно оријентисане архитектуре, део поглавља објашњава парадигме заступљене у оваквом развоју софтвера. Поред тога, направљен је осврт на хардверске и софтверске магистрале, као и на хардверску платформу на којој је реализовано и тестирано ово решење.

## *AUTOSAR*

*AUTOSAR* представља конзорцијум који окупља велике произвођаче возила, као и опреме за возила. Оформљена 2003. године, ова групација је имала за циљ да смањи како трошкове производње, тако и потребан труд и време за преношење постојећих решења на друге платформе [6]. У оквиру овог конзорцијума, прави се разлика између група чланова. Подела се врши на следећи начин:

1. Чланови оснивачи (енг. *Core Partner)* – чине девет првобитних чланова који су започели формирање овог конзорцијума.
2. Премијум чланови (енг. *Premium Members)* – чини их 46 чланова, где они могу бити произвођачи возила, произвођачи оригиналне опреме (енг. *Original Equipment Manufacturers, ОЕМ*), произвођачи различитих софтверских алата, полупроводничких компоненти, итд. Ови чланови су се касније прикључили конзорцијуму.
3. Партнери за равој и производњу (енг. *Development partners*) – ову групу чини 28 чланова који су задужени за развој компоненти које задовољавају прописане стандарде ове групације.
4. Сарадници (енг. *Associates and Attendees*) – последњу групацију у овој хијерархији чине компаније које сарађују са члановима свих осталих група и користе тренутно доступни стандард.

Слика 2.1 даје детаљнији увид у хијерархију ове групације.



Слика . Детаљни приказ чланова *AUTOSAR* конзорцијума [7]

Ова групација изродила је два стандарда. Први, старији, *AUTOSAR Classic* и други,  *AUTOSAR Adaptive*, који се још увек развија. Зарад стварања јасне слике и намене, како једног, тако и другог стандарда, следећа два потпоглавља позабавиће се сваким од стандарда, како би се поставила основа за решење које овај рад износи.

### *AUTOSAR* *Classic*

Овај стандард представља првобитну платформу коју је оформљени конзорцијум створио. Циљна хардверска платформа подразумева микроконтролерске јединице које имају малу процесорску моћ, ограничене меморијске ресурсе. На оваквим платформама извршава се оперативни систем за рад у реалном времену (енг. *Real-time operating system*, RTOS). Задатак ових система јесте вршење временски критичних радњи, обзиром да сваки оперативни систем за рад у реалном временом има јасно дефинисане оквире у којима се одређена операција може извршити. Управо су овакве хардверске и софтверске платформе идеалне за разноврсне функционалност које се тичу управљања возила и на њима се заснивају системи попут кочионог система возила

Иако се овај стандард показао као поуздан у пракси, обзиром да га многобројни произвођачи аутомобила управо уграђују у своја возила, недостатак овог стандард и саме платформе јесте његова непримењивост на платформе велике процесне моћи.

Потреба за великом процесном моћи јавља се као последица унапређења самих сензора, који су сада у могућности да прикупе значајно више информације из свог окружења и самим тиме омогуће алгоритмима на које ослања возач да буду знатно прецизнији. Ова појава за последицу има потребу за новим стандардом, који би подржап како софтверске, тако и хардверске платформе.

*AUTOSAR Adaptive* управо представља овакав стандард. Стварањем њега, не укида се потреба за постојањем *AUTOSAR Classic*. Циљ стандарда, а и самог конзорцијума јесте коегзистирање ових двају платформи.

Наредно поглавље детаљније описује *AUTOSAR Adaptive.*

### *AUTOSAR Adaptive*

Као што је већ напоменуто, ова платформа представља искорак аутомобилске индустрије у смеру стандардизације софтверске платформе која ће омогућити знатно већу процесорску моћ и комуникацију са спољним светом.

Задатак самог конзорцијума јесте стварање стандарда који ће омогућити комуникацију разноврсних електронских контролних јединица (енг. *ECU – Electronic Control Unit*) путем етернет магистрале [8]. Управо 100-мегабитни и гигабитни етернет представљају основе за пренос информација кроз систем и управо је циљ да оне преузму примат у комуникацији. Претходно коришћене магистрале у систему неће бити избачене из употребе, већ ће њихова намена бити ограничена. Управо употреба етернет магистрале омогућује флексибилнији приступ у протоку информација које стижу са разноврсних сензора. Поред тога, етернет магистрала овде омогућује и софтверске подршке на електронским компонентама, у току животног века једног возила, што претходна платформа није пружала.

Поред напретка у комуникацији који овај стандард доноси, велики напори су уложени у омогућавању употребе процесора и компоненти високих перформанси, како би потребе комплексних алгоритама биле задовољене. Управо овај стандард у својој имплементацији стога не представља засебни оперативни систем, већ искључиво његово проширење.

Како би овакво проширење могло бити примењено на оперативни систем, потребно је да систем подржава *POSIX* [9]стандард, специфично *POSIX51.* Како *Linux* оперативни систем задовољава овај стандард, он представља један од оперативних система који је погодан за ово проширење.

Ово проширење оперативног система са собом носи *AUTOSAR* извршно окружење за апликације адаптивне платформе (енг. *ARA – AUTOSAR Runtime for Adaptive Applications*). Оно пружа решења које се тичу основних функционалности апликација, као што су системски позиви, комуникација са локалним и удаљеним сервисима, као и сервисима које пружа сама платформа. Овај апликативни интерфејс (енг. *API* – *Application programing interface*) пружа могућност лаке интеграције већ постојећих апликација у саму адаптивну платформу. Поред тога, постојећи *ARA* *API* је стандардом дозвољено проширити уколико нека од потребних компоненти за функционисање апликација не улази у скуп функционалности *POSIX51*.

Адаптивна платформа је заснована на сервисно оријентисаној софтверској архитектури (енг. *SOA* – *Service Oriented Architecture*) [10]. Одлика овакве архитектуре огледа се могућности постојања већег броја независних софтверских компоненти, тј. сервиса, који посредством мреже или међупроцесне комуникације размењују информације [11]. Оваква софтверска архитектура омогућује велику модуларност и поновну употребу већ постојећег изворног кода из потребне измене.

Механизам комуникације између два сервиса дат је на слици 2.2.



Слика . Приказ комуникације у *SOA* адаптивне платформе [12]

Као што се на слици може приметити, потребно је да постоји је постоји једна софтверска компонента која прати постојање сервиса који пружају различите услуге, тј. информације. Компоненте које пружају услуге (енг. *Provider*), морају да буду видљиве остатку система. То чине тиме што се представе (енг. *Register*) модулу који је задужен за праћене доступних сервиса. Сервиси који зависе од информација, такозвани претплатници (енг. *Subscriber*), прво морају претражити доступне сервисе. Уколико је тражени сервис доступан, тада је могуће добити вршити удаљене позиве њихових функционалности (енг. *RPC - Remote Procedure Call*). Сама адаптивна платформа функционише по овом принципу.

Адаптивна платформа се ослања на овај принцип рада. Доступност сервиса адаптивне платформе је такође могуће мењати у току времена рада саме платформе (енг. *Runtime*) као и у току дизајнирања сервиса. Особине сервиса покрива датока која описује сваки од доступних сервиса (енг. *Service Instance Manifest*). Ова датотека се испоручује са самим извршним кодом, како би се јасно нагласили сви протоколи које апликација користи у својој комуникацији. Поред овог манифеста, који је од већег значаја за овај рад, у адаптивној платформи се користе још два. *Execution manifest* чији је задатак да опише када се који сервис и апликација извршава на адаптивној платформи и *Machine Manifest*, чији је задатак да пружи детаљнији опис саме хардверске платформе.

Слика 2.3 даје детаљнији увид у сервисе адаптивне платформе који су доступни.



Слика . Преглед доступних компоненти адаптивне платформе [12]

Детаљнији преглед функционалности адаптивне архитектуре дат је у следећим поглављима, кроз опис функционалности сервиса и модула који су од значаја за овај рад.

#### *Execution* *Management*

Ова компонента представља модул задужен покретање, како платформе, тако сервиса и апликација које се налазе на платформи. Приликом покретања оперативног система, ова компонента је прва прозвана. Њен задатак је да, из манифеста који описују платформу и остале апликације, распореди када је потребно да се која апликација покрене. *EM* нема за задатак да врши распоређивање апликација у току њиховог извршавања, како је то дужност оперативног система, чије је адаптивна платформа проширење. Дијаграм прелаза стања дат је на слици 2.4.



Слика . Дијаграм прелаза стања приликом покретања *ЕМ*

#### *State* *Management*

#### *Communication* *Management*

# Концепт решења

# Програмско решење

# Резултати

# Закључак

# Литература

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | R. Debouk, "Overview of the 2nd Edition of ISO 26262: Functional Safety – Road Vehicles," in *36th International System Safety Conference*, Phoenix, AZ , 2018. |
| [2] | B. Zhang, V. Appia, I. Pekkucuksen, A. U. Batur, P. Shastry, S. Liu, S. Sivasankaran, K. Chitnis and Y. Liu, "A surround view camera solution for embedded systems," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops,* 2014. |
| [3] | K. Lee and H. Peng, "Evaluation of automotive forward collision warning andcollision avoidance algorithms," *Vehicle System Dynamics,* vol. 43, no. 10, pp. 735-751, 2005. |
| [4] | S. Fürst and J. Mössinger, "AUTOSAR – A Worldwide Standard is on the Road.," [Online]. Available: https://www.win.tue.nl/~mvdbrand/courses/sse/0809/papers/AUTOSAR.pdf. [Accessed 12 Септембар 2019]. |
| [5] | "Развојна платформа Алфа," [Online]. Available: http://www.rt-rk.com/services/automotive. [Accessed 12 Септембар 2019]. |
| [6] | H. Fennel, S. Bunzel, H. Heinecke, J. Bielefeld, S. Fürst, K.-P. Schnelle, W. Grote, N. Maldener, T. Weber, F. Wohlgemuth, J. Ruh, L. Lundh, T. Sandén, P. Heitkämper, R. Rimkus, J. Leflour, A. Gilberg, U. Virnich, S. Voget, K. Nishikawa, K. Kajio, K. Lange, T. Scharnhorst and B. Kunkel, "Achievements and exploitation of the AUTOSAR development partnership," 2006. [Online]. Available: https://tinyurl.com/atsr-prtnrshp. [Accessed 16 Септембар 2019]. |
| [7] | H. Hellgren, "AUTOSAR in a Nutshell," 14 Април 2018. [Online]. Available: https://hackernoon.com/adaptive-autosar-in-a-nutshell-1cc609c1c5f5. [Accessed 16 Септембар 2019]. |
| [8] | M. Tische, "The Computing Center in the Vehicle - AUTOSAR Adaptive," Септембар 2018. [Online]. Available: https://assets.vector.com/cms/content/know-how/\_technical-articles/AUTOSAR/AUTOSAR\_Adaptive\_ElektronikAutomotive\_201809\_PressArticle\_EN.pdf. [Accessed 21 Септембар 2019]. |
| [9] | Austin Common Standards Revision Group, "POSIX® 1003.1 Frequently Asked Questions," 8 Јун 2017. [Online]. Available: http://www.opengroup.org/austin/papers/posix\_faq.html. [Accessed 21 Септембар 2019]. |
| [10] | AUTOSAR, "Explanation of Adaptive Platform Design," 27 Октобар 2017. [Online]. Available: https://www.autosar.org/fileadmin/user\_upload/standards/adaptive/17-10/AUTOSAR\_EXP\_PlatformDesign.pdf. [Accessed 21 Септембар 2019]. |
| [11] | IBM Knowledge Center, "Service Oriented Architecture," IBM, [Online]. Available: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSMQ79\_9.5.1/com.ibm.egl.pg.doc/topics/pegl\_serv\_overview.html. [Accessed 21 Септембар 2019]. |
| [12] | AUTOSAR, "AUTOSAR," Март 2019. [Online]. Available: https://www.autosar.org/standards/adaptive-platform/adaptive-platform-1903/. [Accessed 22 Септембар 2019]. |