

НАЗИВ ФАКУЛТЕТА Факултет техничких наука
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

REPORT ON DOCTORAL DISSERTATION EVALUATION

- compulsory content - each section must be filled out

(all data must be provided in according section, name and placement of sections should not be modified or omitted)

<p>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ:</p> <ol style="list-style-type: none">Датум и орган који је именовало комисију Комисију је именовало Наставно Научно веће Факултета техничких наука, 01.09.2016. године.Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:<ol style="list-style-type: none">др Бранислав Боровац, редовни професор, УНО: Мехатроника, роботика и аутоматизација, датум избора у звање: 13.03.1998., Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Садудр Мохамед Акил, редовни професор, УНО: Рачунарске науке, датум избора у звање: 1985., Универзитет Париз 6, ЕСИЕЕ Париз - Универзитет Париз-Истокдр Мирко Раковић, доцент, УНО: Мехатроника, роботика и аутоматизација, датум избора у звање: 13.02.2014., Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Садудр Мишел Деви, редовни професор, УНО: Наменски системи и роботика, датум избора у звање: 1998., Универзитет Тулуз 3, Лабораторија за анализу и архитектуру система у Тулузудр Ђорђе Обрадовић, доцент, УНО: Примењене рачунарске науке и информатика, датум избора у звање: 13.09.2011., Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Садудр Жонатан Пиат, доцент, УНО: Електротехника и рачунарство, датум избора у звање: 2011., Универзитет Тулуз 3 и Лабораторија за анализу и архитектуру система у Тулузу
<p>I THESIS COMMITTEE INFORMATION:</p> <ol style="list-style-type: none">Date and body which named the committee The committee was named by the Academic council of the Faculty of technical sciences on September 1st 2016.The composition of committee, providing each committee member with: first and second name, academic title, scientific domain, date of title attribution with name of attributing institution, name of institution of current employment<ol style="list-style-type: none">PhD Branislav Borovac, full professor, Mechatronics, robotics and automatisaton, 13.03.1998., Faculty of Technical Sciences, University of Novi SadPhD Mohamed Akil, full professor, Computer sciences, 1985, University Paris VI, ESIEE Paris - University Paris-EastPhD Mirko Raković, associate professor, Mechatronics, robotics and automatisaton, 13.02.2014., Faculty of Technical Sciences, University of Novi SadPhD Michel Devy, director of research, Embedded systems and robotics, 1998, University Toulouse 3, Laboratory of analysis and architecture of systems in Toulouse

5. PhD Đorđe Obradović, assistant professor, Applied computer science and informatics, 13.09.2011., Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
6. PhD Jonathan Piat, assistant professor, Electrical and computer engineering, 2011, University Toulouse 3, Laboratory of analysis and architecture of systems in Toulouse

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља, презиме:
Даниел (Бранислав) Тертеи
2. Датум рођења, општина, држава:
11.07.1986. Суботица, Р. Србија
3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив
А. Факултет техничких наука; Рачунарство и аутоматика; дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства – мастер
Б. Национални политехнички институт у Тулузу; Електротехника и аутоматика; мастер инжењер електротехнике и електричних система
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија
Докторске студије су вршене у коменторству Универзитета у Новом Саду (УНС) и Универзитета Тулуз 3 (УТ3). Године уписа: 2012. (УНС), 2013. (УТ3); студијски програми: Рачунарство и аутоматика (УНС), Наменски системи и роботика (УТ3).
5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:
-
6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:
-

II THESIS CANDIDATE INFORMATION:

1. First name, parent's first name, surname:
Daniel (Branislav) Tertei
2. Date of birth, commune, state:
11.07.1986. Subotica, R. Serbia
3. Name of Faculty, name of the study programme of master academic studies and the attributed title:
A. Faculty of technical sciences, Computing and control engineering, master in electrical and computer engineering
B. National polytechnics institute of Toulouse - ENSEEIHT, Electrical engineering and automation, master in electrical engineering and electrical systems
4. Inscription date on doctoral studies programme, name of studies programme:
Doctoral studies were performed in joint supervision between University of Novi Sad (UNS) and University Toulouse 3 (UT3); Inscription years: 2012. (UNS), 2013. (UT3); doctoral studies programmes: Computing and control engineering (UNS), Embedded systems and robotics (UT3).
5. Name of Faculty, title of magister's thesis, scientific domain and defence date:
-
6. Scientific domain in which the title of magister of sciences is attributed:
-

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

КОДИЗАЈН АРХИТЕКТУРЕ И АЛГОРИТАМА ЗА ЛОКАЛИЗАЦИЈУ МОБИЛНИХ РОБОТА И

ДЕТЕКЦИЈУ ПРЕПРЕКА БАЗИРАНИХ НА МОДЕЛУ

III TITLE OF THE DOCTORAL DISSERTATION:

CO-DESIGN OF ARCHITECTURES AND ALGORITHMS FOR MOBILE ROBOT LOCALIZATION AND MODEL-BASED DETECTION OF OBSTACLES

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација Даниела Тертеиа је написана на 131 страну. Дисертација садржи 8 поглавља, литературу, 44 слике и 22 табеле. Текст дисертације је организован по следећим поглављима:

1. Увод
2. Архитектуре и алгоритми за роботску навигацију
3. Хардвер/софтвер кодизајн ЕКФ-СЛАМа: део први
4. Хардвер/софтвер кодизајн ЕКФ-СЛАМа: део други
5. Развој наменских алгоритама за детекцију препрека помоћу визије
6. У правцу визуелне детекције возила у реалном времену
7. Закључак
8. Литература

IV OVERVIEW OF THE DOCTORAL DISSERTATION

Provide a brief list of contents with number of pages, chapters, figures, schemes, diagrammes, etc.

The doctoral disstertation of Daniel Tertei is written on 131 pages. It contains 8 chapters, bibliography, 44 figures and 22 tables. Text of the manuscript is organized into following chapters:

1. Introduction
2. Architectures and algorithms for robot navigation
3. State-of-the-art
4. EKF-SLAM HW/SW co-design: part I
5. EKF-SLAM HW/SW co-design: part II
6. Embedding algorithms for visual obstacle detection
7. Towards real-time visual vehicle detection
8. Bibliography

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов рада је јасно формулисан и у потпуности указује на садржај рада.

Прво поглавље уводи у проблематику тезе и на погодан начин износи њен главни научни допринос. Током израде тезе, проучаван је проблем локализације и детекције препрека у контексту навигације мобилне платформе - робота. Метод „Симултане локализације и мапирања“ коришћен је истовремено за аутолокализацију мобилне платформе у статичној средини и њено мапирање. Главни допринос ове тезе лежи у дизајну и евалуацији ФПГА хардвер акцелератора за локализацију. Такође, предложен је оквир за визуелну детекцију препрека базирану на моделу намењен за наменске системе. Он може да се имплементира на вишејезгарним хетерогеним хардверским платформама. Релевантни радови у области такође су представљени.

Друго поглавље описује у детаље контекст и ограничења истраживања. У кратким цртама представља навигациони систем Аир-Кобот робот демонстратора. Тај демонстратор се ослања на наменски навигациони систем који пак мора да узме у обзир разна ограничења: портабилност, извршавање у реалном времену, дисипацију енергије итд. Последично, дата је и објашњена методологија коришћена за концепцију, емулацију, дизајн и валидацију софтверских и хардверских компоненти развијених током израде тезе. Релевантни научни доприноси при локализацији и детекцији препрека могу да се сумирају у:

- Развој скалабилног ЕКФ блок акцелератора на ФПГА за визуелне СЛАМ апликације базиране на филтрирању и
- Оквир за детекцију препрека помоћу прозора детекције фиксне димензије за извршавање на наменским системима

Треће поглавље представља актуелно стање у области на тему визуелних ЕКФ-СЛАМ апликација и техника рачунарске визије за препознавање објеката базираних на моделу. Први одељак описује употребу рачунарске визије за проблем класификације објеката и износи поређење генеративних и дискриминативних класификатора као што су, међу осталима: К-меанс, бустинг и машине са векторским потпорама. Друго поглавље укратко износи и пореди системе обраде видеа (секвенце слика) у реалном времену, који су груписани у наменска и ненаменска решења. Коначно, детаљније је објашњена метода визуелног СЛАМ-а која је коришћена у раду за локализацију, са нарочитим фокусом на монокуларну сензорску конфигурацију и на постојеће хардверске имплементације.

У четвртном поглављу изнет је један од главних научних доприноса ове тезе. Ово поглавље описује примену методологије хардвер/софтвер дизајнирања на примеру конкретне 3Д ЕКФ СЛАМ апликације. Узевши у обзир сва ограничења, апликација је имплементирана на хетерогеној хардверској развојној плочи која садржи процесор (на коме се извршава само софтвер) и ФПГА (на коме се извршавају само хардверске функције). У првом делу поглавља, ток извршавања апликације је представљен у виду модела протока података. На бази оптимизација које омогућава овај модел, извршавање апликације је побољшано. Након тога описане су четири итеративне етапе хардвер/софтвер партиционирања над апликацијом, праћене ко-синтезом. Као резултат, три ефикасна ФПГА акцелератора су интегрисана у 3Д ЕКФ СЛАМ СоЦ (хардвер архитектура СЛАМ система на чипу) прототип:

- ФАСТ детектор са теселацијом
- ЕКФ акцелератор и
- Корелатор визуелних оријентира.

Ови акцелератори интегрисани су без икаквих алгоритамских промена. Извршавање СЛАМ-а убрзано је са иницијалних 5Hz на 24Hz. Иницијално постављено ограничење за извршавање у реалном времену - 30Hz - није постигнуто и дато је одговарајуће објашњење за то. Наведено је да временска кашњења у комуникацији између хардверских и софтверских модула представљају лимитирајући фактор.

Пето поглавље посвећено је дизајнирању и хардверској имплементацији гореспоменутог ЕКФ акцелератора на ФПГА. Након кратког осврта на ЕКФ алгоритам, идентификовани су рачунарски захтеви за његово извршавање. Неколико архитектура је предложено, попут једнодимензионалног систоличног процесора за операције матричног множења - које су типичне за визуелни ЕКФ-СЛАМ, архитектуре за крос-коваријансну матрицу и троматрична множења. Ефикасна имплементација захтева адекватно мапирање и интеграцију хардверских и софтверских делова рачунарског система. СЛАМ систем дизајниран је као СоЦ на Зинк7020 (Zynq7020) ФПГА. Издаваја се минималним кашњењима при процесирању улазних података, ниском енергетском дисипацијом и

скалабилношћу. Скалабилност овог дизајна омогућава прилагођавање датог хардверског уређаја за успешно ивршавање визуелног ЕКФ-СЛАМ-а у неструктурираној средини где је потенцијално потребно располагати (меморисати и процесуирати) великим мапама тј. великим бројем оријентира.

Шесто поглавље даје одговор на другу главну хипотезу истраживања. Показано је да информација о присуству објекта у слици, описана помоћу комбинације: робусни детектор тачака од интереса + дескриптор регије у слици око детектоване тачке од интереса, може да буде тражена у оквиру прозора детекције мањих димензија од димензија слике. Обрада података врши се у три етапе. Прва је класификација БоВ хистограма базирана на правилу, друга је класификација базирана на ХоГ хистограму, а у трећој резонује се на основу матрице скорова класификације из претходне етапе: координате прозора детекције оптимизују се у деловима слике са позитивним скоровима.

У седмом поглављу нагласак је на софтверској имплементацији предложеног оквира за детекцију препрека помоћу прозора детекције фиксне димензије. Алгоритам је тестиран на примеру детекције возила на путу у секвенцама слика узетих са јавне базе података КИТТИ. Представљени резултати показују добре перформансе узимајући у обзир истовремено стопу успешних детекција и брзину извршавања алгорита на предложеним наменским платформама (вишејезгарне хетерогене картице).

Осмо поглавље резимира тезу, представља даљи рад омогућен овим истраживањем и износи могућности примене резултата истраживања.

V EVALUATION OF THE INDIVIDUAL SECTIONS OF THE DOCTORAL DISSERTATION

The thesis title is clearly formulated and summarizes well the domain of the conducted research.

Chapter I introduces the thesis problem and presents the main contributions of this thesis. During the thesis work, the main subject studied is the localization and obstacle detection in the context of navigation of mobile platform. The "Simultaneous Localization and Mapping" approach is used for both self-localization and cartography of the static world around the mobile platform. The main contribution of this thesis is the design and evaluation of FPGA-based hardware accelerator for solving the localization. A model-based obstacle detection framework for embedded systems was also proposed. This framework can be executed on multi-core heterogeneous hardware platforms. A background and related works are given as well.

Chapter II in details describes the context and constraints of the research. It describes very shortly the navigation system for the Air-Cobot robot that is a demonstrator. This demonstrator requires an embedded navigation system which must take different constraints into consideration: portability, real time processing, power consumption, etc. Consequently it introduces and explains the methodology used for conception, emulation, design and validation steps of software and hardware components developed during the thesis. The contributions relative to localization and obstacle detection tasks mentioned are summarized as:

- Development of an FPGA-based scalable EKF block accelerator for Filtering-based visual SLAM applications.
- Single-scale obstacle detection framework for embedded systems.

Chapter III references state-of-the-art and relevant visual EKF SLAM applications and computer vision techniques used for model-based object recognition. The first section describes the computer vision for object classification with a comparison of generative and discriminative classifiers like: K-means, boosting and support vector machines. Section two presents and compares very shortly the real-time video analytics systems, grouped in non-embedded and embedded solutions. Finally, the visual EKF-SLAM method used for localization is explained in more detail with a specific focus on monocular sensory configuration and its hardware implementations.

Chapter IV is one of the main contributions of this thesis. This chapter describes an application of a HW/SW methodology to design a 3D EKF SLAM application. Taking into account all the constraints, the proposed application is implemented on heterogeneous hardware development board which is based on processor (Software part) and FPGA (Hardware part). In the first part of the chapter, a dataflow model of computation is used to refine the application model before the start of the implementation. Further in the chapter, four iterative hw/sw partitionings are presented followed by co-syntheses. As a result a three performing FPGA accelerators are integrated into the 3D EKF SLAM SoC prototype:

- FAST feature detector with tessellation,
- EKF-accelerator and
- landmarks Correlator.

These accelerators are integrated without any algorithmic changes. The loop is accelerated from initial 5Hz to 24Hz. The initial preset real-time constraint of 30Hz is not met and the appropriate conclusion for this unmet requirement is given. It is stated that timing delays in communication between software and hardware modules is a limiting factor.

Chapter V is devoted to the design and hardware implementation of the aforementioned EKF-accelerator on FPGA. After a brief overview of the EKF algorithmic, computational requirements are identified. Different architectures were proposed like 1-D systolic array for visual EKF-SLAM matrix multiplications, a cross-covariance matrix architecture and the tri matrix multiplication. The efficient implementation requires an adequate mapping and integration of the Hardware part and Software part. It is designed as a System On Chip on a Zynq7020 device. It is characterized by minimal latency, low power consumption and scalability. Scalability of the design allows for adapting this device in unstructured environments where it is potentially required to have larger map sizes with higher amount of landmark observations and corrections for a particular visual EKF SLAM application.

Chapter VI gives an answer to second main hypothesis. It is shown that the information relative to the presence of the object, described by using a robust interest point detector with a region descriptor, may be searched for in a detection window of a fixed size. Processing pipeline consists of three stages. The first is rule-based BoW classification, the second is SVM classifier on HoG holistic features, and the final stage employs reasoning about obtained scores and performs non maxima suppression.

Chapter VII focuses on a software implementation of single-scale model-based detection framework. The algorithm is tested for vehicles detection on a road sequence taken from the KITTI public data set. Presented results show good performance in terms of detection rate and execution speed on proposed embedded platforms (multi-core heterogeneous boards).

Chapter VIII summarizes the thesis, exposes the remaining questions to be asked, and gives an outline of the subsequent work enabled by the research.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

Рад у међународном часопису (M23):

Tertei, D. T., Piat, J., Devy, M.: "FPGA design of EKF block accelerator for 3D visual SLAM", International Journal of Computers and Electrical Engineering, ISSN: 0045-7906, DOI: 10.1016/j.compeleceng.2016.05.003

Рад саопштен на скупу међународног значаја штампан у целини (M33)

Tertei, D. T., Piat, J., Devy, M.: "FPGA design and implementation of a matrix multiplier based accelerator for 3D EKF SLAM", International Conference on Reconfigurable Computing and FPGAs, ISSN: 2325-6532, IEEE, DOI: 10.1109/ReConFig.2014.7032523

VI LIST OF SCIENTIFIC AND DOMAIN SPECIFIC COMMUNICATIONS THAT ARE PUBLISHED OR ACCEPTED FOR PUBLICATION BASED ON RESEARCH RESULTS IN THE SCOPE OF THE DOCTORAL DISSERTATION WORK

Provide an exhaustive list of titles of scientific communications, where and when are published. Firstly enlist at least one paper that is published or accepted for publication in a SCI indexed journal. In case of communications that are accepted for publication, provide an exhaustive list of titles of scientific communications, where and when are going to be published and attach a proof.

SCI-indexed international journal (M23):

Tertei, D. T., Piat, J., Devy, M.: "FPGA design of EKF block accelerator for 3D visual SLAM", International Journal of Computers and Electrical Engineering, ISSN: 0045-7906, DOI: 10.1016/j.compeleceng.2016.05.003

Communication published on an international conference (M33)

Tertei, D. T., Piat, J., Devy, M.: "FPGA design and implementation of a matrix multiplier based accelerator for 3D EKF SLAM", International Conference on Reconfigurable Computing and FPGAs, ISSN: 2325-6532, IEEE, DOI: 10.1109/ReConFig.2014.7032523

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Ова теза бави се аутономним мобилним апликацијама. Апликацијама тог типа додаје се све више пажње у бројним индустријским секторима. Аутономна навигација подразумева: перцепцију (која се и сама базира на више сензора), локализацију, планирање путање и управљање кретањем у простору. Навигациони систем имплементиран је на наменским платформама и захтева се његово извршавање у реалном времену. Један од најбитнијих изазова је дизајнирање и имплементација ефикасне хардвер/софтвер архитектуре која узима у обзир оваква апликативна ограничења. Даниел поставља две главне хипотезе:

- методологија хардвер/софтвер кодизајна може да се употреби за утврђивање адекватне СоПЦ архитектуре која подржава функционалности локализације и детекције препрека базиране на визији
- информација о присуству објекта у слици, описана (кодирана) помоћу комбинације: робусни детектор тачака од интереса + дескриптор регије у слици око детектоване тачке од интереса, може да буде тражена у оквиру прозора детекције фиксне димензије уместо стандардних метода исрпне претраге са прозорима у више димензија

Даниел предлаже ФПГА хардвер акцелератор за убрзавање локализације и оквир за визуелну детекцију препрека базирану на моделу са адекватном софтвер архитектуром која подржава њено извршавање у реалном времену на вишејезгарним хетерогеним (вишејезгарни процесор + ФПГА) картицама. Добијени резултати потврђују изнете хипотезе. Штавише, у својој тези Даниел разматра проблеме и изван својих постигнућа, што отвара простор за нова будућа истраживања.

VII CONCLUSIONS/RESULTS OF THE RESEARCH

This thesis addresses the autonomous mobile applications. These applications are increasingly important and concern a variety of industrial sectors. The autonomous navigation requires different functions: perception (multi-sensor application), localization, path planning and motion control. Navigation system is based upon real-time and embedded platforms. One of the important issues of this system is to design and implement an efficient HW/SW architecture that respects the constraints of the application.

Daniel introduces two main hypotheses:

- the software/hardware co-design methodology can be used to determine the SoPC architecture for efficient embedding of vision-based localization and obstacle detection tasks
- information relative to the presence of the object, described by using a robust interest point detector with a region descriptor, may be searched for by a detection window of fixed size instead of a standard multi-scale exhaustive search approach

Daniel proposes an FPGA-based hardware accelerator for solving localization task and a multi-core heterogeneous (multi-core CPU+FPGA) platform based framework with software architecture for model-based obstacle detection under relevant real time constraints. The results obtained corroborate the appointed hypotheses. Moreover, within the thesis, Daniel nicely discusses the issues beyond his achievements, which opens the questions for the future research.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Дисертација је добро структурирана, а добијени резултати истраживања су прегледно приказани и јасно и систематски изложени. Уз све приказане резултате и уведене новине су дата и одговарајућа образложења. Коришћена литература указује да су размотрени актуелни ставови везани за проблематику дизајнирања ефикасног наменског система за навигацију мобилних робота. Комисија према томе констатује да су приказаним резултатима јасно потврђене постављене хипотезе ове дисертације.

VIII EVALUATION OF THE PRESENTATION AND INTERPRETATION OF RESULTS OF THE RESEARCH

Give an explicite, positive or negative, evaluation of the presentation and interpretation of results of the research.

The dissertation is well structured and the obtained results of the research are presented transparently and

<p>exposed in a clear and systematic manner. Besides all presented results and proposed innovations, explanations are given accordingly. The consulted literature suggests that state-of-art attitudes and techniques for designing an efficient embedded system for mobile robot navigation are taken into consideration. Therefore, the committee states that the proposed hypotheses of this dissertation are corroborated with presented results.</p>
<p>IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:</p>
<p>1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме Дисертација је написана у складу са образложењем и циљевима истраживања које је кандидат предложио приликом пријаве теме.</p>
<p>2. Да ли дисертација садржи све битне елементе Дисертација садржи све битне елементе: јасно су постављени предмет и циљеви истраживања, постављене су две хипотезе и у току рада су коришћене адекватне истраживачке методе.</p>
<p>3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци Добијени резултати у оквиру ове тезе представљају значајан допринос у релевантној области истраживања: изнето је упутство како итеративно дизајнирати алгоритме и хардверску платформу са циљем постизања постављених апликативних захтева. Као таква, она представља значајну иновацију у кодизајну архитектуре и алгоритама у контексту мобилних платформи. За функционалност локализације, развијен је ефикасан СоЦ прототип за визуелне ЕКФ-СЛАМ апликације, повећавајући број АХП (седмодимензионалних) оријентира који се могу обрадити у реалном времену у оквиру захтевних рачунских операција - типа Калмановог филтра. То омогућава употребу робусније визуелне СЛАМ апликације у комплексним (неструктурираним) срединама. За функционалност детекције препрека, један оригиналан и генерички оквир на бази прозора детекције је предложен и валидиран. Користећи прозор фиксне димензије за локализацију објекта у слици уместо више прозора различитих димензија, знатно се снижава рачунска комплексност алгоритма детекције. На бази те чињенице могуће је реализовати адекватну софтвер архитектуру за алгоритам детекције која се извршава у реалном времену на наменским, вишејезгарним хетерогеним хардверским платформама (картицама).</p>
<p>4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања Докторска дисертација не садржи недостатке који би утицали на резултате истраживања.</p>
<p>IX FINAL EVALUATION OF THE DOCTORAL DISSERTATION State explicitly whether the dissertation is or is not written relative to given specifications, and whether it does or does not contain all relevant elements. Provide clear, precise and concise responses on 3rd and 4th questions:</p>
<p>1. Is the dissertation written in accordance to specifications given in <i>Thesis topics registration (previous procedure)</i> The dissertation is written in accordance with specifications and research objectives that were proposed by the candidate for the Thesis topics registration procedure</p>
<p>2. Does the dissertation contain all the relevant elements The dissertation contains all the relevant elements: subject and objectives of the research are clearly stated, two hypotheses were proposed and adequate research methods were used during the work</p>
<p>3. What is the original scientific contribution of the thesis The results obtained in the thesis are an important contribution to the field: it gives a recipe how to iteratively design the algorithms and the hardware platform in order to reach the preset requirements. As such, it presents an important innovation in co-design of architectures and algorithms in the context of a mobile platform. For localization functionality, an efficient SoC prototype for visual EKF-SLAM applications is developed, augmenting the number of Anchored Homogeneous Points (AHP) - parameterized landmarks that may be processed in a Kalman filtering scheme in real time. That enables</p>

<p>robuster VSLAM applications that may be executed in complex environments. For obstacle detection functionality, an original, generic detection window framework for embedded systems is proposed and validated. Using a single-scale window for object localization within an image instead of windows of multiple sizes alleviates greatly the computational complexity of the detection algorithm. Based on this fact, an adequate software architecture may be realized that supports real-time execution of an object detection algorithm on an embedded, multi-core heterogeneous hardware platform.</p>
<p>4. Shortcomings of the dissertation and their influence on results of the research The doctoral dissertation does not contain shortcomings which would influence on results of the research</p>
<p>X ПРЕДЛОГ:</p>
<p>На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже: да се докторска дисертација под насловом: „КОДИЗАЈН АРХИТЕКТУРЕ И АЛГОРИТАМА ЗА ЛОКАЛИЗАЦИЈУ МОБИЛНИХ РОБОТА И ДЕТЕКЦИЈУ ПРЕПРЕКА БАЗИРАНИХ НА МОДЕЛУ“ прихвати, а кандидату Даниелу Тертеиу одобри одбрана.</p>
<p>X PROPOSITION:</p>
<p>Based on an overall evaluation of the dissertation, the committee proposes: the acceptance of the doctoral dissertation titled " CO-DESIGN OF ARCHITECTURES AND ALGORITHMS FOR MOBILE ROBOT LOCALIZATION AND MODEL-BASED DETECTION OF OBSTACLES" and the authorization of Daniel Tertei's defence.</p>

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

ENLIST NAMES AND TITLES OF
THESIS COMMITTEE MEMBERS
SIGNATURES OF THESIS COMMITTEE
MEMBERS

<p>ПОТПИС ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ: THESIS COMMITTEE SIGNATURES:</p>
<p>1. Председник: 1. President:</p> <p>_____</p> <p>др Бранислав Боровац, редовни професор PhD Branislav Borovac, full professor</p>
<p>2. Члан: 2. Member:</p> <p>_____</p> <p>др Ђорђе Обрадовић, доцент PhD Đorđe Obradović, assistant professor</p>

3. Ментор: 3. Mentor: _____ др Мирко Раковић, доцент PhD Mirko Raković, assistant professor
4. Члан: 4. Member: _____ др Мохамед Акил, редовни професор PhD Mohamed Akil, full professor
5. Члан: 5. Member: _____ др Жонатан Пиат, доцент PhD Jonathan Piat, assistant professor
6. Ментор: 6. Mentor: _____ др Мишел Деви, редовни професор PhD Michel Devy, director of research

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.

NOTE: The committee member that does not want to sign the report because he/she is not in accord with the opinion of the majority of the thesis committee, he/she is obliged to provide in a written form his explanation/reasoning as a part of the present report