

НАЗИВ ФАКУЛТЕТА Факултет техничких наукаИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ  
-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Датум и орган који је именовao комисију: 27.03.2019, декан Факултета техничких наука на основу одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду</li> <li>2. Састав комисије са знаком 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"> <li>1. Председник: Др Тибор Лукић, ванредни професор, Теоријска и примењена математика, 07.06.2017, ФТН, Нови Сад</li> <li>2. Члан: Др Татјана Давидовић, научни саветник, Рачунарство, 26.04.2018, Математички институт САНУ, Београд</li> <li>3. Члан: Др Лидија Чомић, доцент, Теоријска и примењена математика, 08.07.2014, ФТН, Нови Сад</li> <li>4. Ментор: Др Наташа Сладоје Матић, ванредни професор, Рачунарска обрада слика, 01.06.2018, Департман за информационе технологије, Упсала Универзитет (Шведска), и гостујући професор, Теоријска и примењена математика, 17.10.2018, Факултета техничких наука, Нови Сад</li> <li>5. Ментор: Др Јоаким Линдблад, истраживач, рачунарска обрада слика, 01.10.2015, Универзитет у Упсали, Шведска</li> </ol> </li> </ol>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Име, име једног родитеља, презиме: Буда Радован Бајић Папуга</li> <li>2. Датум рођења, општина, држава: 14.02.1988, Нови Кнежевац, Србија</li> <li>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: Природно-математички факултет, Примењена математика – финансијска математика, Мастер математичар</li> <li>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2013. година, Математика у техници</li> <li>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:</li> <li>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:</li> </ol>
<b>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>
<p><b>Methods for image restoration and segmentation by sparsity promoting energy minimization</b></p> <p>(назив на српском: Методе за рестаурацију и сегментацију дигиталне слике засноване на минимизацији функције енергије која фаворизује ретке репрезентације сигнала)</p>

#### **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Докторска дисертација је написана на енглеском језику. Садржи 207 страна и подељена је у 8 поглавља. Дисертација садржи 189 референци, 47 слика и графикона, 5 табела и 6 прилога. На почетку тезе дата је кључна документацијска информација са изводима и основним подацима о дисертацији на српском и енглеском језику. Након кључне документације дат је резиме дисертације на српском језику.

#### **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

У **првом поглављу** описани су предмет истраживања, потреба за њим, као и мотивација и могућности примене на конкретним проблемима из подручја обраде дигиталне слике. Предмет истраживања чине:

1. методе за рестаурацију и реконструкцију дигиталних слика у супер-резолюцији замагљених и деградираних мешавином Поасоновог и Гаусовог шума,
2. методе за сегментацију које допуштају делимичну покривеност пиксела објектом, у присуству замагљења на сликама и потребе за повећањем резолуције.

Ово поглавље уводи и појам функције енергије која се користи за решавање оба проблема у тези. Функција енергије представља збир две функције - функције фитовања података (која мери одступање полазне од жељене слике) и регуларизационе функције (чији циљ је да наметне жељене особине крајњем решењу). *Главни допринос тезе је развој нових функција фитовања података и нових регуларизационих функција за рестаурацију и сегментацију.*

**Друго поглавље** презентује статистички приступ базиран на Бајесовој теорему који се користи како би се извеле максимум а постериори (МАП) оцене за инверзне проблеме код којих су слике моделоване као случајне променљиве. Ово поглавље повезује МАП оцене и функцију енергије дату у облику збира функције фитовања података и регуларизационе функције. Оно пружа увид у област која је потребна за разумевање наредних поглавља и доприноса дисертације.

**Треће поглавље** презентује различите функције фитовања података за рестаурацију и сегментацију која допушта делимичну покривеност пиксела. Наведене су функције фитовања података које се јављају у литератури, како оне које су једнаке одговарајућој функцији веродостојности, тако и њене различите апроксимације. Ово поглавље уводи и нове функције фитовања података које су предложене у оквиру дисертације. Конкретно, за третирање комбинованог Гаусовог и Поасоановог шума, предложена је нова функција фитовања података. Предложена функција укључује нелинеарну трансформацију која резултује тиме да шум присутан у трансформисаним подацима прати приближно Гаусову расподелу. За сегментацију која допушта делимичну покривеност пиксела, у модел линеарне комбинације репрезентата класа је укључен линеарни директни модел формирања слике који у себи садржи претпоставку о замагљењу и смањењу резолуције снимљене слике. Различите функције фитовања података изложене у оквиру овог поглавља су разматране у Публикацијама I-IV.

**Четврто поглавље** представља различите регуларизационе функције за рестаурацију и сегментацију. Уведене су регуларизационе функције које фаворизују ретке репрезентације сигнала, са фокусом на функцију Тоталне Варијације (Total Variation) која фаворизује ретку градијентну слику. Дефинисане су потенцијалне функције које очувавају ивице и постављена је хипотеза да се, уколико се ове функције користе у рестаурацији уместо идентичког пресликавања (које одговара Тоталној Варијацији), могу постићи бољи резултати, односно квалитетнија рестаурација. За сегментацију, посматрана је Мамфорд-Шах (Mumford-Shah) регуларизација. Објашњена је веза између функције Тоталне Варијације и Мамфорд-Шах регуларизације. Та веза је мотивисала да уместо претходно коришћене регуларизационе функције за сегментацију која допушта делимичну покривеност пиксела у литератури буде предложено коришћење регуларизационе функције базиране на Тоталној Варијацији. Додатно, предложена је и нова регуларизациона функција која промовише да већина пиксела буде потпуно покривена објектом или позадином. Тиме је значајно поједностављен поступак оптимизације посматране неконвексне функције енергије. Различите регуларизационе функције разматране у оквиру овог поглавља су такође разматране у Публикацијама I, II и V.

**Пето поглавље** наводи најважније аспекте алгоритама дизајнираних за ефикасну нумеричку оптимизацију (неконвексне и не-глатке) функција енергије. Наведени су многобројни нумерички поступци развијени у новије време који се користе за решавање проблема рестаурације и сегментације. У дисертацији функција енергије је оптимизована помоћу методе Спектралног Пројектованог Градијента (СПГ). У овом поглављу је презентован СПГ и два нова оптимизациона алгорита из Публикација III и II, поступци Алтернативне минимизације (АМ) и Постепеног повећавања неконвексности (ПН).

**Шесто поглавље** презентује скуп слика коришћених за евалуацију предложених метода у оквиру дисертације. Ово поглавље такође презентује најважније квантитативне и квалитативне резултате добијене помоћу предложених метода који су презентовани и у Публикацијама I-V.

**Седмо поглавље** презентује примену метода за рестаурацију на сликама добијеним помоћу електронског микроскопа и методе за сегментацију која допушта делимичну покривеност пиксела у анализи хиперспектралних сателитских слика и медицинских (СТ) слика (Публикације III, VI и II).

**Осмо**, последње, поглавље, сумира закључке истраживања и презентује потенцијалне будуће правце истраживања.

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

- I. **Вајић В**, Lindblad J and Sladoje N. Restoration of images degraded with signal-dependent noise based on energy minimization: an empirical study. *SPIE Journal of Electronic Imaging*, 2016, 25(4), 043020. (M23)
- II. **Вајић В**, Lindblad J and Sladoje N. Super-resolution coverage segmentation by linear unmixing in presence of blur and noise. *SPIE Journal of Electronic Imaging*, 2019, 28(1), 013046. (M23)
- III. **Вајић В**, Lindblad J and Sladoje N. Blind restoration of images degraded with mixed Poisson-Gaussian noise with application in Transmission Electron Microscopy. In *Proceedings of the 13th IEEE International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)*, Prague, April 2016, pp. 123–127. (M33)
- IV. **Вајић В**, Lindblad J and Sladoje N. Single image super-resolution reconstruction in presence of mixed Poisson-Gaussian noise. In *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA)*, Oulu, Finland, December 2016, pp. 1–6. (M33)
- V. **Вајић В**, Lindblad J and Sladoje N. An Evaluation of Potential Functions for Regularized Image Deblurring. In *Proceedings of International Conference on Image Analysis and Recognition (ICIAR)*, Algarve, Portugal, October 2014, *Lecture Notes in Computer Science*, 8814, pp. 150–158. (M33)
- VI. **Вајић В**, Suveer A, Gupta A, Pepić I, Lindblad J, Sladoje N, and Sintorn I-M. Denoising of Short Exposure Transmission Electron Microscopy Images for Ultrastructural Enhancement. In *Proceedings of the 15th IEEE International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)*, Washington D.C., USA, April 2018. (M33)

#### **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

У тези је показана важност узимања у обзир реалистичне претпоставке о томе да шум присутан у дигиталним сликама има расподелу која се моделује као линеарна комбинација Гаусове и Поасонове случајне променљиве, при решавању проблема рестаурације дигиталне слике, као и проблема реконструкције дигиталних слика у супер-резољуцији. У радовима који су укључени у тезу, Публикације I, III и IV, показана је важност прецизног третирања мешавине Гаусовог и Поасоновог шума и предложене су нове методе за рестаурацију дигиталних слика и реконструкцију слике у супер-резољуцији, у случају кад функција фитовања података укључује претпоставку о таквој мешавини шума. Предложени начин третирања оваквог шума се састоји у примени нелинеарне трансформације података која резултује тиме да шум присутан у трансформисаним подацима приближно прати Гаусову расподелу. Укључивање поменуте трансформације у функцију

фитовања података резултује бржим и прецизнијим методама за рестаурацију слика које су деградиране мешавином Поасоновог и Гаусовог шума, у поређењу са методама које уопште не третирају ову врсту шума или пак онима које, попут малобројних метода предложених у литератури, третирају поменути шум на мање ефикасан начин.

У тези је потврђено да се перформансе метода за рестаурацију заснованих на минимизацији функције енергије могу значајно побољшати уколико се класична регуларизациона функција Тоталне Варијације замени регуларизацијом која укључује Хуберову потенцијалну функцију. Ови резултати су објављени у Публикацијама I и V и уопштавају претходно познате резултате тако што укључују деградацију замагљењем и смањењем резолуције, уз претходно посматране случајеве присуства шума.

Додатно, у тези је показана тачност хипотезе да се, уколико се при дефинисању функције енергије за сегментацију слике која допушта делимичну покривеност пиксела узме у обзир претпоставка о формирању замагљене слике, односно уколико се омогући уклањање тог замагљења, сегментација може значајно побољшати. Метода која истовремено отклања замагљење из слике и даје оцену о покривености сваког пиксела објектом је предложена у Публикацији II. Развијена метода додатно узима у обзир и претпоставку да је дата слика формирана на малој резолуцији, и моделује тај процес, те даје оцену покривености пиксела при већој резолуцији од полазне (даје оцену покривености пиксела у супер-резолуцији).

У тези су предложене нове регуларизационе функције које фаворизују ретке репрезентације слика за сегментацију која допушта делимичну покривеност пиксела, које су значајно побољшале перформансе предложене методе.

Ефикасност метода нумеричке оптимизације које се примењују за проналажење минимума функција енергије значајно утиче на ефикасност рестаурације и сегментације. У свим предложеним методама рестаурације (Публикације I, IV и V) функција енергије је оптимизирана помоћу методе Спектралног Пројектованог Градијента (СПГ). Ова метода је веома флексибилна у погледу промене или укључивања нових функција фитовања података и регуларизационих функција. За решавање сложенијих неконвексних проблема оптимизације у вези са рестаурацијом код које функција замагљења није позната и сегментацијом која допушта делимичну покривеност пиксела, предложени су сложенији алгоритми оптимизације. За методу рестаурације код које функција замагљења није позната (Публикација III) предложен је поступак Алтернативне Минимизације (АМ), где је проблем подељен у конвексне потпроблеме. За сегментацију која допушта делимичну покривеност пиксела (Публикација II) предложен је оптимизациони алгоритам Постепеног повећања неконвексности (ПН) који се ослања на приступ постепеног повећања сложености проблема. Поменути алгоритам користи решења нумерички лакших потпроблема за иницијализацију оптимизације комплекснијих проблема. Потпроблеми унутар АМ и ПН алгоритма су оптимизовани помоћу СПГ-а.

### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

Кандидаткиња Буда Бајић Папуга у потпуности је обавила истраживања која су била предвиђена планом датим у пријави докторске дисертације. Целокупан приказ дисертације је добро и јасно структуриран. Резултати су детаљно и систематично интерпретирани и упоређени са релевантним методама из области. Велики број графичких приказа омогућава лакше разумевање резултата представљених у дисертацији. Изведени су закључци утемељени на великом броју експеримената и разноврсним подацима што показује да кандидаткиња добро познаје актуелно стање и поседује висок ниво знања из области дигиталне обраде слике. Дат је обиман преглед релевантне литературе. У складу са наведеним, Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

Текст ове дисертације је од стране Библиотеке Факултета техничких наука у Новом Саду службено проверен на подударност, користећи софтвер за детекцију плагијаризма *iThenticate*. Резултати те провере су разматрани од стране свих чланова комисије. Комисија сматра да је степен подударности очекиван и занемарив.

<b>IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>	
1.	Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме  Докторска дисертација у потпуности је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.
2.	Да ли дисертација садржи све битне елементе  Дисертација садржи све битне елементе научно-истраживачког рада. Тема, садржај, преглед литературе, методологија, приказ и тумачење резултата задовољавају захтеве нивоа докторске дисертације.
3.	По чему је дисертација оригиналан допринос науци  Докторска дисертација садржи оригиналне научне доприносе, евалуиране и публиковане у међународним научним часописима и представљене на релевантним међународним научним скуповима.
4.	Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања  Дисертација нема недостатке који утичу на резултате истраживања.
<b>X ПРЕДЛОГ:</b>	
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:	
- да се докторска дисертација прихвати, а кандидаткињи Буди Бајић Папуги одобри одбрана.	

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ  
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

---

Др Тибор Лукић, ванредни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад

---

Др Тајјана Давидовић, научни саветник,  
Математички институт, Београд

---

Др Лидија Чомић, доцент,  
Факултет техничких наука, Нови Сад

---

Др Наташа Сладоје Матић, гостујући професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад

---

Др Јоаким Линдبلاد, истраживач,  
Универзитет у Упсали, Шведска