

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовано комисију: Наставно -научно веће Природно-математичког факултета, 15.9.2022.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. Др Наташа Крклец Јеринкић	ванредни професор	нумеричка математика, 30.5.2019.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет у Новом Саду		председник
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. Др Душан Јаковетић	ванредни професор	математичко моделирање, 29.10.2020.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. Др Наташа Крејић	редовни професор	нумеричка математика, 15.6.2004.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет у Новом Саду		члан, ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. Dr. Stefania Bellavia	редовни професор	нумеричка математика, 2021
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Универзитет у Фиренци		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији

<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Маласпина (Морено) Грета</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 13.6.1992. Пиетрасанта, Италија</p> <p>3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Универзитет у Фиренци, мастер математичар, 2018</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: Докторске студије математике, ПМФ Нови Сад, 2019. Докторске студије су биле део пројекта Bigmath - Mathematical Challenges for Big Data, European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 812912.</p>
<b>III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>
Методe дистрибуиране оптимизације за проблеме великих димензија без ограничења Distributed Optimization methods for large scale unconstrained optimization problems
<b>IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>
<p>Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.</p> <p>Теза има 213 страна и подељена је у 7 поглавља. Нумерички резултати добијени у тези су приказани на 15 слика. На крају тезе је дат списак коришћене литературе са 75 библиографских јединица. Прво поглавље дисертације садржи преглед класичних резултата математичке анализе, линеарне алгебре и теорије графова који се користе у разматрањима у тези. У другом поглављу је дат преглед познатих резултата из области дистрибуиране оптимизације. Наредна четири поглавља представљају оригинални допринос, како је описано у наредном параграфу извештаја. Последње поглавље у тези садржи сумарне резултате и могуће правце даљег истраживања.</p> <p>The thesis consists of 213 pages and is divided in 7 chapters. Numerical results obtained in the thesis are shown on 15 figures. The bibliography of 75 units is given at the end of the thesis. The first chapter contains an overview of classical results of mathematical analysis, linear algebra and graph theory which are used in the thesis. An overview of the state-of-the-art in the distributed optimization is presented in the second chapter. The following four chapters contain original contributions and are described below. The last chapter contains conclusions and some possible further research directions.</p>
<b>V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>
<p>Четири поглавља дисертације садрже оригиналне резултате кандидата. Сви резултати се односе на проблеме дистрибуиране оптимизације, где подразумевамо да се минимизира агрегатна функција циља на мрежи комјутерских чворова, при чему сваки чвор поседује само локалну функцију циља, а потребно је минимизирати агрегатну функцију циља. У дисертацији су посматрана два типа комјутерских мрежа. Први је дистрибуирана мрежа која је заправо повезан граф, а комуникација је могућа само између чворова који су повезани гранама графа. Други тип мреже је мастер-радници мрежа, у којој постоји централни чвор који је повезан са свим осталим чворовима мреже (радницима), али чворови радници нису међусобно повезани. Стога се у дистрибуираној оптимизацији, поред теоријске анализе конвергенције и анализе рачунарског трошка поступка, намеће и питање комуникационих трошкова као битан параметар квалитета нумеричког поступка.</p> <p>Four chapters of the thesis contain original results. All results belong to the distributed optimization, a framework where we assume that one has to minimize the aggregate objective function on a network of computational nodes, while each node possesses only his local objective function. Two types of distributed network are considered in the thesis. The first one is distributed network which is a connected graph and communication is possible only between nodes that are linked in the graph. The second type is master-workers network, which has the central node (master) which is connected to all other (worker)</p>

nodes but worker nodes are not mutually connected. Thus in the distributed optimization, besides the usual theoretical analysis and cost analysis of a method, communication costs appear as an important parameter of a numerical method.

У поглављу 3 је дато уопштење постојеће теорије о конвергенцији егзактних метода првог реда за решавање проблема дистрибуиране оптимизације за случај комуникационих мрежа које су променљиве у времену. Прецизније, показано је да резултати о конвергенцији класе егзактних градијентних метода са дужином корака која је променљива по времену и специфична за сваки чвор у мрежи важе и без претпоставке о фиксној комуникационој мрежи. Теоријски резултат је илустрован нумеричким резултатима на релевантним примерима.

An extension of the existing convergence theory for the exact first order methods for distributed optimization for the case of communication networks varying in time is presented in Chapter 3. More precisely, it is shown that the convergence results for a class of exact gradient methods hold in the case of time varying communication network and node specific stepsizes hold. The theoretical result is illustrated with numerical tests on relevant examples.

Поглавље 4 је посвећено приближном Њутновом методу у дистрибуираном окружењу. Дефинисан је поступак Њутновог типа за казнену реформуацију проблема дистрибуиране оптимизације који је у потпуности дистрибуиран. Наиме, Хесијан казног проблема има структуру која одговара комуникационој мрежи чворова, али тачно решавање Њутновог линеарног система није могуће у дистрибуираном окружењу. Стога је дефинисан приближни поступак типа непокретне тачке за решавање линеарног система једначина у свакој итерацији Њутновог метода. Затим је дефинисан адаптивни корак којим се дефинисани приближни Њутнов поступак глобализује. Ред конвергенције поступка је линеаран, суперлинеаран или квадратни, у зависности од прецизности решавања линеарног система. Овај резултат је аналоган резултату за класични проблем оптимизације. Након тога је дефинисан алгоритам за одређивање казних параметара и решавање низа казних проблема којим се постиже егзактна конвергенција. Добијени теоријски резултати су велики искорак у теоријском смислу, а ефикасност поступка је илустрована на релевантним нумеричким примерима.

Chapter 4 is dedicated to inexact Newton methods in distributed environment. A completely distributed inexact Newton method for the penalty reformulation is defined. Namely, the hessian of the penalty problem has the same structure as the communication network but exact solving of the linear system is not possible in the distributed environment. Therefore, an inexact method of the fixed point type is defined to solve the linear system in each iteration of the Newton method. After that an adaptive stepsize is defined such that the inexact Newton method is globally convergent. The rate of convergence is linear, superlinear or quadratic, depending on the forcing terms in linear systems. This results is completely analogous to the classical result in the centralized case. After that, an algorithm for a sequence of penalty problems is defined, yielding the exact convergence. The obtained results are a significant advancement in theoretical sense, and the efficiency of the method is illustrated on relevant examples.

Поглавље 5 је посвећено проблему решавању система линеарних једначина у дистрибуираном окружењу када структура система једначина не одговара структури комуникационе мреже и директна примена метода типа непокретне тачке није могућа. Стога је искоришћена стандардна реформуација на простор веће димензије и у том простору је дефинисан итеративни поступак типа непокретне тачке. Показана је конвергенција овако дефинисаног поступка под условима који су аналогни условима у класичном случају, те се за мрежу са једним чвором добијају класични резултати, конвергенција под условом да је итеративна матрица по норми мања по 1. Овим је покривена теорија конвергенције за читаву класу поступака. Аналоган резултат је показан и за случај комуникационих мрежа које су променљиве у времену. Теоријски резултати су потврђени нумеричким експериментима приказаним на крају поглавља.

In Chapter 5 of the thesis the problem under consideration is solution of linear systems of equations in distributed environment when the system structure does not correspond to the communication graphs and hence the fixed point methods can not be applied directly. Using the standard reformulation to the

augmented space a fixed point iterative method is defined. The convergence result for so defined iterative method is completely analogous to the well know results in the classical case and this result is sharp in the sense that for a 1-node network we obtain the classical result, convergence if the norm of the iterative matrix is smaller than 1. An analogous result is shown for the case of communication network changes in time. The theoretical results are confirmed by relevant numerical examples.

Поглавље 6 је посвећено решавању проблема најмањих квадрата са ретком структуром и веома великом димензијом. Мотивација за овај проблем потиче из проблема дигитализације катастарских мапа у Холандији, на ком је кандидаткиња радила током докторских студија у компанији Sioux Lime Ltd. Екстремно велика димензија овог и сличних проблема чини класичне методе оптимизације неприменљивим, те је неопходно применити паралелне алгоритме, односно радити у мастер-радници архитектури. У тези је дефинисано разлагање које користи ретку структуру проблема тако што је Јакобијан пресликавања разбијен на блок-дијагонални део и блок-вандијагонални део. Захваљујући оваквом разлагању могуће је дефинисати приближни Левенберг-Маркартов поступак који је погодан за паралелно процесуирање. Наиме, одговарајући систем је разложен на више независних система који се могу решавати паралелно, а мастер чвор примењује линијско претраживање користећи агрегирана решења појединачних чворова. За овако дефинисан поступак је показана глобална конвергенција и анализиран је ред локалне ковергенције. Под стандардним претпоставкама, а у зависности од реткости матрице Јакобијана, показана је линеарна и суперлинеарна конвергенција поступка. Теријски резултати су илустровани на примеру са милион непознатих и показана је ефикасност паралелизације предложена у дисертацији.

Very large scale sparse least squares problems are considered in Chapter 6. Motivation for this problem comes from the project of digitalization of kadaster maps in the Netherlands as the candidate worked on that problem during her stay at Sioux Lime Ltd, Eindhoven. Extremely large dimension of the problem makes the application of standard methods impossible and it is necessary to solve the problem in parallel fashion, i.e. in the master-worker framework. The proposed method is based on the splitting that uses sparsity of the problem in such way that the Jacobian is splitted into block diagonal and block off-diagonal matrices. Such splitting further allows us to define an inexact Levenberg-Marquardt method suitable for parallel implementation. Namely, the original system of linear equations in each iteration is in this way separated into a number of mutually independent linear systems that can be solved in parallel, while the master node aggregates the local solutions and performs a line search procedure. Global convergence is proved, as well as local linear and superlinear convergence depending on the level of sparsity. The theoretical results are illustrated on an example with one million of variables.

<p><b>VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:</b></p> <p>1. D. Jakovetić, N. Krejić, N. Krklec Jerinkić, G. Malaspina, A. Micheletti, <i>Distributed Fixed Point Method for Solving Systems of Linear Algebraic Equations</i>, Automatica, 134, 2021, M21 (аутор кореспондент Грета Маласпина)</p>
<p><b>VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:</b></p>
<p><b>VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:</b></p> <p>Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.</p> <p>Приказ свих резултата истраживања је организован по логичким целинама, а формулација теоријских резултата је прецизна и илустрована нумеричким резултатима.</p> <p>All results are organized in meaningful chapters, the formulation of theoretical results is correct and illustrated by numerical results.</p> <p>Текст дисертације је проверен у софтверу за детекцију плагијаризма iThenticate у Библиотеци Департамента за математику и информатику Природно-математичког факултета, са вредношћу резултатујег индекса сличности 29%. . На основу резултата провере, Комисија је констатовала да је већина подударности, везана за радове (један објављен и један у процесу ревизије, али доступан као preprint), у којијма је кандидаткиња аутор, а који приказују резултате дисертације. Остатак преклапања се односи на поједине опште коришћене фразе. Стога се закључује да је докторска дисертација оригинално ауторско дело кандидаткиње Грете Маласпина. Са Извештајем о подударности упознати су сви чланови Комисије.</p> <p>The thesis is checked for similarities with software iThenticate in the library of Department of Mathematics and Informatics, Faculty of Sciences resulting in 29% of similarity. Checking the result the committee established that most of the similarities comes from the papers authored by the candidate (1 published and 1 in the process but available as a preprint) and that these papers are results of this thesis. The remaining similarities are certain phrases that are generally used in this area. Therefore, we conclude that the thesis is an original contribution of Greta Malaspina. All members of the committee are aware of the similarity check.</p> <p>На основу наведеног, комисија је донела позитивну оцену за начин приказа и тумачења резултата, са закључком да је докторска дисертација оригинално ауторско дело кандидаткиње Грете Маласпина.</p> <p>Based on the above the committee has positive opinion on the way that results are shown and interpreted and concluded that the thesis is an original work by Greta Malaspina.</p>
<p><b>IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b></p> <p>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 наведеним у пријави теме. The thesis is written in accordance with the title submission.</p> <p>2. Да ли дисертација садржи све битне елементе? Дисертација садржи све битне елементе: у водном делу је дата мотивација за проучавање теме, затим је наведем преглед познатих резултата из области, а оригинални допринос тезе је формулисан у четири поглавља. Теза се завршава пригодним закључком у ком су сумирани доприноси и наведени могући правци даљег истраживања. На крају тезе је дат преглед коришћене литературе. The thesis has all important elements: introduction part with the motivation, an overview of state-of-the-art in distributed optimization, original contribution presented in 4 chapters. Thesis ends with Conclusion chapter consisting of a summary of the results and a list of possible future research directions. The thesis ends with bibliography.</p> <p>3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?</p>

Оригинални допринос науци је дат кроз четири поглавља тезе и састоји се у следећем: 1) проширена је теоријска анализа за поступке првог реда са егзактном конвергенцијом за случај комуникационих мрежа које се мењају у времену; 2) дефинисан је метод приближног Њутновог типа са адаптивном дужином корака и показана његова глобална конвергенција и брза локална конвергенција, под условима који су генерализација класичних услова у централизованом оптимизацији; 3) дефинисан је поступка типа дистрибуиране фиксне тачке за решавање система линеарних једначина и показана конвергенција поступка под условима који одговарају класичним тврђењима у централизованом оптимизацији; 4) дефинисан је паралелни поступак типа приближног Левенберг-Маркардовог метода за решавање проблема нелинеарних најмањих квадрата веома велике димензије и ретке структуре, мотивисан проблемом дигитализације катастарских мапа, показана је глобална конвергенција поступка као и локална конвергенција одговарајуће брзине.

The original contribution is given in four chapters and consists of the following: 1) extended theoretical analysis for first order methods with exact convergence to the case of time varying communication networks; 2) an inexact Newton method with adaptive step sizes is defined, global and local convergence is proved under the conditions that correspond to the conditions in the centralized optimization; 3) a distributed fixed point method for solving systems of linear equations is defined and its convergence is proved under the conditions that are analogous to the conditions in centralized optimization; 4) Parallel inexact Levenberg-Marquardt method for solving sparse nonlinear least squares is defined and analysed, motivated by the problem of digitalization of cadaster maps, global convergence as well as local convergence of suitable rate is shown.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

Теза нема битних недостатака.

The thesis has no significant draw-backs.

**X ПРЕДЛОГ:**

На основу наведеног, комисија предлаже:

а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана;

The committee is proposing to accept the thesis and allow the candidate is allowed to defend the thesis.

Нови Сад, 13.10.2022.

1. др Наташа Крклец Јеринкић,  
ванредни професор  
\_\_\_\_\_, председник

2. др Душан Јаковетић, ванредни  
професор  
\_\_\_\_\_, члан

3. проф. др Наташа Крејић  
\_\_\_\_\_, члан

4. Prof. Dr. Stefania Bellavia  
\_\_\_\_\_, члан

**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 и да исти потпише.