УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ **ОБРАЗАЦ – 6**
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

1. Датум и орган који је именовао комисију: 25.9.2025., Наставно-научно веће Природно-математичког факултета

2. Састав комисије у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду*:

1.	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		председник
	установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2.	др Наташа Крклец Јеринкић	редовни професор	нумеричка математика, 21.7.2024.
	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 Марко Петковић	редовни професор	рачунарске науке 14.03.2016
	презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
	Природно-математички факултет у Нишу		члан
	установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4.	Dr. Cláudia Soares	доцент	машинско учење, 3.3.2021.
	презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
	Универзитет НОВА у Лисабону		члан
	установа у којој је запослен-а		функција у комисији

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме: Манојло, Јован, Вуковић

2. Датум рођења, општина, држава: 3.2.1993., Приштина, Република Србија

3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Природно-математички факултет у Новом Саду, мастер математичар, 2017.

4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: Докторска школа математике, Природно-математички факултет у Новом Саду, 2017.

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Дистрибуирано закључивање и оптимизација у шуму тешког репа

Distributed inference and optimization in heavy-tailed noise

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.

Теза има 177 и подељена је у 7 поглавља. Нумерички резултати који су добијени у тези су приказани у 15 слика. Списак коришћене литературе са 76 библиографских јединица је дат на крају тезе. У уводном поглављу тезе изложени су основни мотиви истраживања, дефинисани циљеви рада и представљена је структура тезе. Друго поглавље дисертације садржи преглед класичних резултата теорије вероватноће, линеарне алгебре и конвексне анализе. У трећем поглављу је дат преглед познатих резултата из области рекурзивног оцењивања, као и дистрибуираног оцењивања. Четврто поглавље даје преглед резултата из области оптимизације и дистрибуиране оптимизације. Наредна два поглавља представљају оригинални допринос, како је описано у наредном параграфу извештаја. Последње поглавље тезе садржи синтезу постигнутих резултата и указује на потенцијалне правце даљих истраживања у овој области.

The thesis has 177 pages and is divided into 7 chapters. The numerical results obtained in the thesis are presented in 15 figures. A list of used literature with 76 bibliographic units is given at the end of the thesis. The introductory chapter of the thesis presents the basic motives of the research, defines the goals of the work and presents the structure of the thesis. The second chapter of the dissertation contains a review of classical results in probability theory, linear algebra and convex analysis. The third chapter provides a review of known results in the field of recursive evaluation, as well as distributed evaluation. The fourth chapter provides an overview of results in the field of optimization and distributed optimization. The next two chapters represent the original contribution, as described in the next paragraph of the report. The last chapter of the thesis contains a synthesis of the achieved results and indicates potential directions for further research in this area.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Два поглавља дисертације садрже оригиналне резултате. Сви добијени резултати односе се на проблеме дистрибуираног закључивања и оптимизације у условима присуства шума тешког репа. Последњих година, анализа алгоритама у таквим стохастичким режимима добија све више на значају, јер појава тешких репова све чешће карактерише податке и комуникационе канале у савременим великим мрежама. Стога је природно усмерити пажњу управо на ову класу проблема. Оба разматрана проблема у досадашњој литератури нису била предмет анализе у контексту шума тешког репа. За разлику од постојећих метода, предложени приступи показују способност конвергенције ка решењу, односно у околини решења, чак и у условима када је шум карактерисан тешким реповима, односно у ситуацијама у којима варијанса може бити потенцијално бесконачна.

Two chapters of the dissertation contain original results. All the obtained results relate to problems of distributed inference and optimization in the presence of heavy-tailed noise. In recent years, the analysis of algorithms in such stochastic regimes has gained increasing importance, since the occurrence of heavy tails increasingly characterizes data and communication channels in modern large-scale networks. Therefore, it is natural to focus attention precisely on this class of problems. Both of the problems considered in the literature have not been analyzed in the context of heavy-tailed noise. Unlike existing methods, the proposed approaches demonstrate the ability to converge to a solution, or rather to the neighborhood of the solution, even in conditions where the noise is characterized by heavy tails, i.e. in situations where the variance can be potentially infinite.

Поглавље 5 посвећено је проблему дистрибуираног закључивања у присуству шума тешког репа. Основни циљ дистрибуираног закључивања јесте проналажење непознатог параметра кроз размену информација међу чворовима мреже, а у оквиру ове дисертације тај задатак се остварује употребом класе consensus+innovations алгоритама. Поглавље је подељено у два потпоглавља. У

Потпоглављу 5.1 анализира се дистрибуирано закључивање у условима када је присутан комуникациони шум тешког репа. Приказани су резултати који доказују скоро сигурну конвергенцију и асимптотску нормалност предложеног алгоритма, као и аналитички примери који показују да је у одређеним поставкама могуће оптимизовати конвергенцију у смислу асимптотске варијансе. Поред тога, на крају потпоглавља дати су и нумерички експерименти који илуструју теоријске резултате. У Потпоглављу 5.2 разматра се сложенија поставка, у којој су истовремено присутни и комуникациони и опсервациони шумови тешког репа, при чему се они јављају као међусобно зависни. И у овом случају доказана је скоро сигурна конвергенција и асимптотска нормалност, а додатно је показана и средње-квадратна конвергенција. Као и у претходном потпоглављу, резултати су поткрепљени аналитичким примерима и нумеричким експериментима.

Chapter 5 is dedicated to the problem of distributed inference in the presence of heavy-tailed noise. The main goal of distributed inference is to find an unknown parameter through the exchange of information between network nodes, and in this dissertation, this task is achieved using the consensus+innovations class of algorithms. The chapter is divided into two subsections. In Subsection 5.1, distributed inference is analyzed in the presence of heavy-tailed communication noise. Results are presented that prove the almost certain convergence and asymptotic normality of the proposed algorithm, as well as analytical examples that show that in certain settings it is possible to optimize convergence in terms of asymptotic variance. In addition, at the end of the subsection, numerical experiments are given to illustrate the theoretical results. In Subsection 5.2, a more complex setting is considered, in which both communication and observational noises of a heavy tail are present at the same time, and they appear to be mutually dependent. In this case, almost certain convergence and asymptotic normality are also proven, and additionally, mean-square convergence is demonstrated. As in the previous subsection, the results are supported by analytical examples and numerical experiments.

Поглавље 6 посвећено је проблему дистрибуиране оптимизације у условима присуства шума тешког репа. У оквиру ове дисертације проблем се разматра у класи стандардних дистрибуираних градијентних метода, при чему је циљ да агенти, који међусобно комуницирају, заједнички реше проблем оптимизације. У тези се посматра случај када је комуникација између агената отежана и контаминирана шумом тешког репа. У таквој поставци доказана је конвергенција у смислу средње-квадратне конвергенције у околину оптималног решења, при чему се показује да величина те околине може бити произвољно смањена. Поред тога, добијени су и резултати који одређују брзину конвергенције ка наведеној околини решења. На крају поглавља дати су нумерички експерименти који илуструју и потврђују ваљаност добијених теоријских резултата.

Chapter 6 is devoted to the problem of distributed optimization in the presence of heavy-tailed noise. In this dissertation, the problem is considered in the class of standard distributed gradient methods, where the goal is for agents, which communicate with each other, to jointly solve the optimization problem. The thesis considers the case when communication between agents is hampered and contaminated by heavy-tailed noise. In such a setting, convergence in the sense of mean-square convergence to the neighborhood of the optimal solution is proven, and it is shown that the size of this neighborhood can be arbitrarily reduced. In addition, results were obtained that determine the speed of convergence to the specified neighborhood of the solution. At the end of the chapter, numerical experiments are given that illustrate and confirm the validity of the obtained theoretical results.

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

1. Jakovetic, D., Vukovic, M., Bajovic, D., Sahu, A. K., & Kar, S. (2023). *Distributed recursive estimation under heavy-tail communication noise*. SIAM Journal on Control and Optimization, 61(3), 1582-1609, M21a
2. Vukovic, M., Jakovetic, D., Bajovic, D., & Kar, S. (2024). *Nonlinear consensus+ innovations under correlated heavy-tailed noises: Mean square convergence rate and asymptotics*. SIAM Journal on Control and Optimization, 62(1), 376-399, M21a

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

Шумови са тешким репом суштински мењају карактер дистрибуираног закључивања и оптимизације, јер нарушавају класичне претпоставке о ограниченој варијанси. Као последица, стандардни consensus+innovations алгоритми и стандардни градијентни методи потенцијално дивергирају, а самим тим губе поузданост. У дисертацији су уведене стратегије које смањују утицај шумова тешког репа како у дистрибуираном закључивању, тако и у дистрибуираној оптимизацији. У случају дистрибуираног закључивања показано је: 1) скоро сигурна конвергенција и асимптотска нормалност у присуству комуникационог шума са тешким репом и 2) скоро сигурна конвергеницица, средње квадратна конвергеницца и асимтотска нормалност у случају међусобно зависних комуникационих и обзервационих шумова са тешким репом. У случају дистрибуиране оптимизације показана је средње квадратна конвергеницца ка околини решења. Дакле, алгоритми који су предложени у оквиру ове дисертације представљају нову класу метода које задржавају робусност у условима када су присутни шумови са тешким репом.

Heavy-tailed noise fundamentally changes the nature of distributed inference and optimization, as it violates the classical assumptions of bounded variance. As a result, standard consensus+innovations algorithms and standard gradient methods potentially diverge, and thus lose reliability. The dissertation introduces strategies that mitigate the impact of heavy-tailed noise in both distributed inference and distributed optimization. In the case of distributed inference, it estabilishes: 1) almost certain convergence and asymptotic normality in the presence of heavy-tailed communication noise, and 2) almost certain convergence, mean-square convergence, and asymptotic normality in the case of mutually dependent heavy-tailed communication and observation noises. In the case of distributed optimization, it shows mean-square convergence toward the neighborhood of the solution. Therefore, the algorithms proposed in this dissertation represent a new class of methods that maintain robustness in conditions where heavy-tailed noise is present.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

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

Приказ свих резултата истраживања је организован по логичким целинама, а формулација теоријских резултата је прецизна и илустрована нумеричким резултатима.

All results are organized in meaningful chapters, the formulation of theoretical results is correct and illustrated by numerical results.

На основу наведеног, комисија је донела позитивну оцену за начин приказа и тумачења резултата, са закључком да је докторска дисертација оригинално ауторско дело кандидата Манојла Вуковића.

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 Manojlo Vuković.

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. Навести нумеричке податке о резултатима провере оригиналности рада и дати текстуално образложење.

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.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Дисертација обухвата све кључне елементе: у уводном делу изнета је мотивација за проучавање

теме, затим је дат преглед релевантних резултата из области, док је оригинални допринос рада изложен у два поглавља. Рад се завршава закључком у коме су сумирани постигнути доприноси и истакнути могући правци будућих истраживања. На крају дисертације дат је и преглед коришћене литературе.

The dissertation includes all the key elements: the introductory part presents the motivation for studying the topic, then an overview of relevant results in the field is provided, while the original contribution of the work is presented in two chapters. The work ends with a conclusion summarizing the contributions achieved and highlighting possible directions for future research. At the end of the dissertation, a review of the used literature is also provided.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Оригинални допринос дисертације дат је кроз два поглавља и састоји се у следећем: 1) формулисани су и анализирани модели дистрибуираног закључивања у условима комуникационог шума тешког репа у класи consensus+innovations, при чему је показано да конвергирају скоро сигурно и у смислу асимптотске нормалности; 2) проширена је анализа на случај када су истовремено присутни комуникациони и опсервациони шумови тешког репа, где је доказана не само скоро сигурна и асимптотска нормалност већ и средње-квадратна конвергенција; 3) дефинисани су модели дистрибуиране оптимизације у којима комуникациони канали садрже шум тешког репа и показано је да поступци првог реда конвергирају у околину решења, при чему величина те околине може бити контролисана.

The original contribution of the dissertation is given in two chapters and consists of the following: 1) distributed inference models under conditions of heavy-tailed communication noise in the consensus+innovations class are formulated and analyzed, and it is shown that they converge almost surely and in terms of asymptotic normality; 2) the analysis is extended to the case when heavy-tailed communication and observation noises are simultaneously present, where not only almost surely and asymptotic normality but also mean-square convergence is proven; 3) distributed optimization models are defined in which communication channels contain heavy-tailed noise and it is shown that first-order processes converge to the neighborhood of the solution, where the size of that neighborhood can be controlled.

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

Теза нема битних недостатака.

The thesis has no significant draw-backs.

5. Образложење резултата провере оригиналности рада (нумерички и наративно):

Текст дисертације је проверен у софтверу за детекцију плагијаризма iThenticate у Библиотеци Департмана за математику и информатику Природно-математичког факултета, са вредношћу резултујућег индекса сличности 51%. На основу резултата провере, Комисија је констатовала да је већина подударности, везана за радове (два објављена и један у процесу ревизије, али доступан као preprint), у којима је кандидат 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 кандидата Манојла Вуковића. Са Извештајем о подударности упознати су сви чланови Комисије.

The thesis is checked for similarities with software iThenticate in the library of Department of Mathematics and Informatics, Faculty of Sciences resulting in 51% of similarity. Checking the result the committee established that most of the similarities comes from the papers authored by the candidate (2 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 Manojlo Vuković. All members of the committee are aware of the similarity check.

X ПРЕДЛОГ:
На основу наведеног, комисија предлаже:
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, 3.11.2025.

1. др Наташа Крејић
_____, председник

2. др Наташа Крклец Јеринкић
_____, члан

3. др Марко Петковић
_____, члан

4. Dr. Cláudia Soares
_____, 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.