

ПРИМЉЕНО: 26-05-2025			
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
	480/16-1		

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Јована Милојковића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа бр. 480/16 од 11.03.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Јована Милојковића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Итеративно декодовање линеарних блок кодова алгоритмима мале комплексности“ (енгл. „*Low complexity iterative decoding of linear block codes*“).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Јован Милојковић је рођен 24.11.1994. године у Нишу, Република Србија. Основну школу „Мирослав Антић“ у Нишу завршио је са одличним успехом као носилац Вукове дипломе, 2009. године. Гимназију „Бора Станковић“ у Нишу, на смеру „информатички“, завршио је са одличним успехом као носилац Вукове дипломе, 2013. године. Основне академске студије уписао је на Електронском факултету у Нишу 2013. године, назив студијског програма Електротехника и рачунарство. Дипломирао је 2017. године на модулу Рачунарство и информатика са темом „Алгоритми за сортирање података засновани на стаблима“, са оценом 10 (десет) и просечном оценом студирања 10.00. Мастер академске студије, на студијском програму Рачунарство и информатика, модул Софтверско инжењерство, уписао је 2017. године на Електронском факултету у Нишу, а завршио је 2020. године са просечном оценом 10.00. Тема завршног рада на Мастер академским студијама је била „Пројектовање и имплементација система за тестирање софтвера на кластеру“ на којој је добио оцену 10 (десет). Јован Милојковић је стекао звање мастер инжењер електротехнике и рачунарства 2020. године и исте године уписао докторске академске студије на Електротехничком факултету у Београду, на смеру Телекомуникације.

Јован Милојковић радио је као сарадник у настави на Електронском факултету у Нишу од 2019. године до 2020. године. Од 2021. године, Јован Милојковић је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Аутор је и коаутор неколико радова који су саопштени и публиковани на научним скуповима везаним за рачунарство и телекомуникације.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Кандидат Јован Милојковић је 2020. године уписао докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу Телекомуникације. Положио је све предмете предвиђене наставним планом са просечном оценом 10. У наредној табели дат је списак положених испита.

Ред. бр.	Шифра предмета	Предмет	Оцена	ЕСПБ
1	19Д031ДСП	Дискретни случајни процеси у телекомуникацијама	10 (десет)	9
2	19Д031МТК	Модерна теорија кодовања и криптографије	10 (десет)	9
3	19Д031СОС	Симболичка обрада сигнала	10 (десет)	9
4	19Д081ТГ	Теорија графова са применама у електротехници и рачунарству	10 (десет)	9
5	13Д031ДОС	Дигитална обрада сигнала	10 (десет)	9
6	19Д031КТТ	Кооперативне технике у телекомуникацијама	10 (десет)	9
7	19Д031ТТС	Теорија телекомуникационог саобраћаја	10 (десет)	9

Поред наведених испита, кандидат је положио три додатна испита из предмета основних академских и мастер академских студија (на основу одлуке Комисије за студије трећег степена), као и један факултативни испит са докторских академских студија.

Ред. бр.	Шифра предмета	Предмет	Оцена	ЕСПБ
1	13Е034ТИК	Теорија информација и кодови у телекомуникацијама	10 (десет)	6
2	13Е032Т1	Телекомуникације 1	10 (десет)	6
3	19М034АДО	Итеративни алгоритми за динамичку оптимизацију	10 (десет)	6
4	13Д091УНР	Увод у научни рад	10 (десет)	6

Јован Милојковић је у току докторских студија урадио и остале обавезе:

1. Студијски истраживачки рад I (24 ЕСПБ),
2. Студијски истраживачки рад II (24 ЕСПБ).

Научно-истраживачко искуство у области предложене теме Јован Милојковић је потврдио објављивањем два рада у међународним часописима са SCI листе (категорије M22) и два радова на конференцијама међународног значаја.

У току своје досадашње каријере кандидат се бавио научно-истраживачким и инжењерским радом и у другим областима везаним за телекомуникације и рачунарство, где је као резултат објавио још четири рада на конференцијама међународног значаја (категорија M33).

У наредном делу наведене су научне и стручне референце кандидата Јована Милојковића груписане у складу са спецификацијом Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M20):

J. Milojković, S. Brkić, P. Ivaniš and B. Vasić, “Generalized Adaptive Diversity Gradient Descent Bit-Flipping with a Finite State Machine,” *Entropy*, vol. 27, no. 1, paper no. 49, January 2025, doi: 10.3390/e27010049, ISSN: 1099-4300, Impact Factor: 2.1 (2023) **(M22)**.

P. Ivaniš, J. Milojković, V. Blagojević and S. Brkić, “Capacity Analysis of Hybrid Satellite–Terrestrial Systems with Selection Relaying,” *Entropy*, vol. 26, no. 5, paper no. 419, May 2024, doi: 10.3390/e26050419, ISSN: 1099-4300, Impact Factor: 2.1 (2023) **(M22)**.

Радови објављени у зборницима међународних научних скупова (M30):

J. Milojković, S. Brkić, P. Ivaniš, B. Vasić, “Optimization of the iterative decoding algorithms for irregular block codes,” in *Proc. 32nd Telecommunications Forum TELFOR 2024*, Belgrade, Serbia, 26-27 November 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/TELFOR63250.2024.10819061 **(M33)**.

J. Milojković, S. Brkić, P. Ivaniš, Z. Čiča, “Performance of Handover Execution in Satellite Networks with Shadowed-Rician Fading,” in *Proc. 16th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications TELSIKS 2023*, Niš, Serbia, 25-27 October 2023, pp. 155-158, doi: 10.1109/TELSIKS57806.2023.10315719 **(M33)**.

J. Milojković, S. Brkić, P. Ivaniš, B. Vasić, “Learning to Decode Linear Block Codes using Adaptive Gradient-Descent Bit-Flipping,” in *Proc. 12th International Symposium on Topics in Coding ISTC 2023*, Brest, France, 4-8 September 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISTC57237.2023.10273470 **(M33)**.

J. Milojković, P. Ivaniš, V. Blagojević, S. Brkić, “Performance analysis of land mobile satellite-terrestrial systems with selection relaying,” in *Proc. 10th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2023*, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 5-8 June 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/IcETRAN59631.2023.10192199 **(M33)**.

J. Milojković, S. Brkić, J. Čertić, “On Pulse Shaping for Generalized Faster than Nyquist Signaling with and without Equalization,” in *Proc. 9th International Conference on Electrical, Electronic and Computer Engineering IcETRAN 2022*, Novi Pazar, Serbia, 6-9. June 2022, pp. TE1.1 1-4, ISBN: 978-86-7466-930-3 **(M33)**.

J. Milojković, V. Ćirić, D. Rančić, “Design and Implementation of Cluster Based Parallel System for Software Testing,” in *Proc. 2020 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*, Novi Sad, Serbia, 26-27 May 2020, pp. 276-279, doi: 10.1109/ZINC50678.2020.9161436 **(M33)**.

Дана 10.4.2025. године, на Електротехничком факултету у Београду, одржана је јавна усмена одбрана предложене теме, пред Комисијом у саставу:

1. др Весна Благојевић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
2. др Бане Васић, редовни професор, University of Arizona - Department of Electrical and Computer Engineering,
3. др Марија Рашајски, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Кандидат Јован Милојковић је успешно одбранио тему докторске дисертације. Комисија је закључила да кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми и оценила испит оценом „задовољно“.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу усмене одбране теме докторске дисертације, претходно изложеног приказа резултата досадашњег научно-истраживачког рада кандидата, публикованих резултата истраживања, као и оствареног радног искуства, Комисија закључује да је кандидат Јован Милојковић показао способност за самосталан и успешан научно-истраживачки рад. Како је кандидат показао широко знање у области теме, изложио циљеве и очекиване резултате истраживања, Комисија сматра да је кандидат испунио услове за израду докторске дисертације из области предложене теме.

2. Предмет и циљ истраживања

Заштитни кодови и одговарајући алгоритми декодовања су од великог значаја у телекомуникационим системима, због своје примене у отклањању грешака и повећању брзине информационог протока у систему. У савременим телекомуникационим системима највећу примену имају кодови са малом густином провера парности (Low-Density Parity-Check, LDPC) [1], који се користе у мобилним мрежама пете генерације (5G) [2] и у новијим стандардима за дигитални пренос видео сигнала по сателитском линку [3]. Ови кодови представљају обавезан део најновије верзије Wi-Fi стандарда (IEEE 802.11ax) [4], а користе се и за обезбеђивање поузданог записа података на SSD (Solid-State Drive) меморијама [5]. Велика популарност ове класе кодова настала је услед примене итеративних алгоритама декодовања, који обезбеђују линеарну зависност комплексности декодовања од дужине кодне речи. За једну класу кодова може се развити више алгоритама декодовања. Код LDPC кодова две најпознатије класе алгоритама декодовања су message-passing (MP) алгоритми декодовања и bit-flipping (BF) алгоритми декодовања.

MP декодери раде на структури која се зове Танеров граф [6]. Танеров граф је бипартитни граф који је дефинисан контролном матрицом кода (енгл. parity-check matrix). У структури Танеровог графа постоје два типа чворова: варијабилни чворови (variable nodes, VN), и чворови провере парности (parity check nodes, CN), као и скуп веза између њих. У алгоритмима декодовања који припадају MP класи, поруке се шаљу од варијабилних чворова до њима суседних чворова провере парности и обратно у једној итерацији декодовања. Један од најпознатијих MP алгоритама јесте алгоритам са пропагацијом веродостојности (Belief Propagation, BP) алгоритам, који је представљен у револуционарном раду [7]. BP алгоритам је прво уведен на структури која се зове стабло, али је после установљено да може радити и на графовским структурама које имају циклусе. Зато се овај алгоритам може успешно имплементирати на Танеровом графу, који је комплетно дефинисан одговарајућом контролном матрицом линеарног блок кода. У случају када је контролна матрица ретка (енгл. sparse), овај алгоритам постиже перформансе декодовања блиске теоријској граници која је одређена принципом максималне веродостојности (Maximum Likelihood, ML). BP алгоритми

су изузетно ефикасни по питању отклањања грешака, али је њихова хардверска имплементација сложена. Постоје други МР алгоритми код којих је комплексност хардверске имплементације мања, али је њихова способност отклањања грешака умањена. Један од ових алгоритама је на пример алгоритам са минимизацијом и сабирањем (min-sum, MS) [8]. Перформансе МР алгоритама ограничава присуство кратких циклуса у Танеровом графу, који се називају трапинг сетови (trapping sets, TS). У новије време, објављени су радови који могу помоћи да се превазиђе проблем трапинг сетова, што је за резултат дало боље перформансе [9, 10].

Оригинални ВФ алгоритам декодовања је предложио Роберт Галагер у својој тези [1], а заснива се на итеративном инвертовању (флиповању) оних бита кодне речи којима одговара велики број незадовољених провера парности. Код овог алгоритма се поруке не размењују по чворовима Танеровог графа, па је он стога веома брз и лак за имплементацију, али има лошије перформансе од ВР алгоритма. Из овог алгоритма је развијена читава класа нових алгоритама декодовања LDPC кодова који користе исти основни принцип али имају боље перформансе од оригиналног ВФ алгоритма, по цену повећане комплексности декодовања [11,12]. Wadayama је у свом раду [13] применио методу градијентног спуста (енгл. gradient descent), у циљу побољшања перформанси ВФ алгоритама, што представља основу алгоритма флиповања бита са градијентним спустом (gradient descent bit-flipping, GDBF) . Након тог алгоритма, развијена се цела класа GDBF алгоритама који имају још боље перформансе. Уведен је и пробабилизам приликом декодовања, што је додатно побољшало перформансе [14,15]. Оптимизацијом прага за флиповање варијабилног чвора, постигнуте су боље перформансе и бржа конвергенција алгоритма. Додатно, коришћењем историје флиповања могу се поставити нова правила за флиповање варијабилног чвора. Комбинација ова два приступа (подешавање прага и историја флиповања) се може видети у радовима [16,17]. Додавањем моментума као новог члана енергетске функције перформансе се додатно побољшавају [18] и добија се GDBF са моментумом (GDBF with Momentum, GDBF-w/M). Више различитих декодера се могу користити у синергији да би се добили још бољи резултати [19].

Поред LDPC кодова, у савременим телекомуникационим системима користе се и друге класе линеарних блок кодова. Тако се у DVB-S2 и DVB-S2X [3] стандардима за сателитски пренос користи каскадна веза LDPC и BCH (Bose–Chaudhuri–Hocquenghem) кодова, ради постизања бољих перформанси. Са друге стране, у сервису који за циљ има ултра поуздану комуникацију са малим кашњењем (Ultra-Reliable Low-Latency Communication, URLLC), пожељно је коришћење линеарних блок кодова са мањом дужином кодне речи [20]. Због њихове гарантоване способности за исправљање грешака, BCH кодови представљају једно од најчешће разматраних решења за ову примену. Ипак, достизање ML границе код BCH кодова веће дужине није лак задатак. Класичне методе декодовања BCH кодова, које користе тврде одлуке, показују скромну корекциону способност [21]. Методе које користе меке одлуке могу побољшати перформансе али уз велику имплементациону цену [22]. Интересантан приступ решењу проблема декодовања BCH кодова користећи технике ВР алгоритама презентован је у радовима [23,24], али овај приступ има ограничења јер ови кодови по правилу немају ретку контролну матрицу. Недавно је предложен нов начин декодовања коришћењем неуронских мрежа, познат као неуронски ВР алгоритам (NBP) [25], у коме се додају тежински фактори који одговарају гранама Танеровог графа (при чему се ови тежински фактори могу оптимизовати у процесу учења). Касније је NBP додатно модификован да би се добили други облици неуронских МР алгоритама [26-29].

У скороје време, предложен је GDBF декодер са адаптивним диверзитијем (Adaptive Diversity Gradient Descent Bit-Flipping, AD-GDBF), који се може користити за LDPC кодове, и који може постићи боље перформансе од ВР декодера, за велики број итерација, када се пренос обавља кроз бинарни симетрични канал (Binary Symmetric Channel, BSC) [19]. Овај

декодер представља скуп GDBF-w/M декодера који су међусобно каскадно повезани, а сваки обавља декодовање у мањем броју итерација. Коефицијенти сваког компонентног декодера су оптимизовани за примењени LDPC код, користећи базу неуспешно декодованих речи која је добијена Монте Карло симулацијом. Полазећи од ове идеје, у конференцијском раду [30] предложен је генерализовани AD-GDBF (Generalized AD-GDBF, gAD-GDBF) алгоритам, где је уведен концепт потенцијала. У том раду је приступ AD-GDBF декодовања проширен и на BCH кодове и на канал са адитивним белим Гаусовим шумом (Additive White Gaussian Noise, AWGN), а показано је да за довољно велики максималан број итерација gAD-GDBF алгоритам постиже боље резултате од сложенијег BP алгоритма. У недавно објављеном раду [31], показано је да се овај алгоритам може додатно оптимизовати тако да се и за релативно мали број итерација применом gAD-GDBF алгоритма при декодовању BCH кодова постигну бољи резултати него применом знатно комплекснијег BP алгоритма. Додатно унапређење ове идеје изложено је у раду [32], где је сваком варијабилном чвору придружен коначни аутомат на основу кога се одређује вредност потенцијала. Показано је да овакав приступ доводи до додатног побољшања перформанси при декодовању LDPC кодова, како у случају када се пренос обавља кроз BSC, тако и у случају када се за пренос користи канал са AWGN.

Предмет истраживања ове докторске дисертације јесте унапређење алгоритма декодовања линеарних блок кодова базираних на GDBF принципу. Биће предложени нови концепти који узимају у обзир информацију из канала приликом декодовања, као и нове модификације алгоритма декодовања које би требало да имају боље перформансе за незнатно повећану имплементациону цену. Даље истраживање у оквиру докторске дисертације би требало да одговор да ли је могуће унапређењем GDBF алгоритма постићи боље резултате декодовања за широку класу линеарних блок кодова, користећи мање хардверских ресурса и обезбеђујући мање кашњење при декодовању. Биће испитано и које су границе декодовања одређених GDBF алгоритма, на који начин трапинг сетови онемогућују конвергенцију алгоритма декодовања и како би се могао ублажити овај ефекат. Додатна оптимизација параметара декодера би требало да обезбеди да његове перформансе постану упоредиве са BP алгоритмом, а да комплексност буде мања од оне коју има BP алгоритам. Ова оптимизација ће бити обављена уз помоћ генетског алгоритма.

Циљ истраживања ове докторске дисертације је да се предложи унапређење GDBF алгоритма, које би обезбедило боље перформансе при декодовању различитих линеарних блок кодова, уз мању комплексност имплементације у односу на постојећа решења. Решење би требало да буде универзално, односно да се исти декодер за различите вредности параметара може применити за декодовање различитих линеарних блок кодова. Перформансе и комплексност алгоритма посебно ће бити приказане за већи број LDPC и BCH кодова, како за случај када се пренос обавља кроз BSC, тако и у случају када се за пренос користи канал са AWGN.

Значај истраживања ове докторске дисертације јесте унапређење итеративних алгоритма декодовања линеарних блок кодова, у циљу добијања бољих перформанси декодовања уз мању комплексност декодера. Овакво решење би директну примену имало у системима који користе линеарне блок кодове за исправљање грешака. Алгоритам који ће бити предложен у овој дисертацији би могао да се користи у земаљским и сателитским радио мрежама, као замена за BP алгоритам, чиме би се обезбедио већи проток за исти ниво поузданости и упоредив ниво заузећа хардверских ресурса. Посебно је интересантна примена у уређајима који користе и LDPC и BCH кодове, као у сателитском DVB-S2X стандарду, где би се алгоритам који ће бити предложен у овој дисертацији користио за декодовање обе класе кодова (што у тренутним решењима није случај), чиме би била поједностављена имплементација одговарајућег модема.

Релевантни библиографски извори за предложено истраживање:

1. R. G. Gallager, "Low-Density Parity-Check Codes", Ph.D. Thesis, Cambridge, MIT Press, 1963
2. 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Multiplexing and Channel Coding (Release 16), 3GPP TS 38.212 V16.5.0 (2021-03); 3GPP: Valbonne, France, 2021.
3. ETSI EN 302 307-2 V1.2.1 (2020-05), Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and Other Broadband Satellite Applications; Part 2: DVB-S2 Extensions (DVB-S2X). European Telecommunications Standards Institute: Sophia Antipolis, France, 2020.
4. IEEE. IEEE SA—IEEE 802.11ax-2021. Available online: <https://standards.ieee.org/ieee/802.11ax/7180/> (приступљено 10.02.2024).
5. K. Zhao, W. Zhao, H. Sun, T. Zhang, X. Zhang, N. Zheng, "LDPC-in-SSD: Making Advanced Error Correction Codes Work Effectively in Solid State Drives," in *Proceedings of the 11th USENIX Conference on File and Storage Technologies (FAST 13)*, San Jose, CA, USA, 12–15 February 2013; pp. 243–256.
6. R. Tanner, "A recursive approach to low complexity codes," in *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 27, no. 5, pp. 533–547, September 1981, doi: 10.1109/TIT.1981.1056404
7. J. Pearl, "Reverend Bayes on Inference Engines: A Distributed Hierarchical Approach," in *Proceedings of the AAAI National Conference on AI*, Pittsburgh, PA, USA, 18–20 August 1982; pp. 133–136.
8. Jinghu Chen and M. P. C. Fossorier, "Near optimum universal belief propagation based decoding of low-density parity check codes," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 50, no. 3, pp. 406–414, March 2002, doi: 10.1109/26.990903
9. S. K. Planjery, D. Declercq, L. Danjean and B. Vasic, "Finite Alphabet Iterative Decoders—Part I: Decoding Beyond Belief Propagation on the Binary Symmetric Channel," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 61, no. 10, pp. 4033–4045, October 2013, doi: 10.1109/TCOMM.2013.090513.120443
10. D. Declercq, B. Vasic, S. K. Planjery and E. Li, "Finite Alphabet Iterative Decoders—Part II: Towards Guaranteed Error Correction of LDPC Codes via Iterative Decoder Diversity," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 61, no. 10, pp. 4046–4057, October 2013, doi: 10.1109/TCOMM.2013.090513.120444
11. Juntan Zhang and M. P. C. Fossorier, "A modified weighted bit-flipping decoding of low-density Parity-check codes," in *IEEE Communications Letters*, vol. 8, no. 3, pp. 165–167, March 2004, doi: 10.1109/LCOMM.2004.825737
12. T. C. . -Y. Chang and Y. T. Su, "Dynamic Weighted Bit-Flipping Decoding Algorithms for LDPC Codes," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 63, no. 11, pp. 3950–3963, Nov. 2015, doi: 10.1109/TCOMM.2015.2469780
13. T. Wadayama, K. Nakamura, M. Yagita, Y. Funahashi, S. Usami and I. Takumi, "Gradient descent bit flipping algorithms for decoding LDPC codes," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 58, no. 6, pp. 1610–1614, June 2010, doi: 10.1109/TCOMM.2010.06.090046
14. O. A. Rasheed, P. Ivaniš and B. Vasić, "Fault-Tolerant Probabilistic Gradient-Descent Bit Flipping Decoder," in *IEEE Communications Letters*, vol. 18, no. 9, pp. 1487–1490, Sept. 2014, doi: 10.1109/LCOMM.2014.2344031
15. G. Sundararajan, C. Winstead and E. Boutillon, "Noisy Gradient Descent Bit-Flip Decoding for LDPC Codes," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 62, no. 10, pp. 3385–3400, Oct. 2014, doi: 10.1109/TCOMM.2014.2356458

16. H. Cui, J. Lin and Z. Wang, "An Improved Gradient Descent Bit-Flipping Decoder for LDPC Codes," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 66, no. 8, pp. 3188-3200, Aug. 2019, doi: 10.1109/TCSI.2019.2909653
17. H. Cui, J. Lin and Z. Wang, "Information Storage Bit-Flipping Decoder for LDPC Codes," in *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, vol. 28, no. 11, pp. 2464-2468, Nov. 2020, doi: 10.1109/TVLSI.2020.3009270
18. V. Savin, "Gradient Descent Bit-Flipping Decoding with Momentum," *2021 11th International Symposium on Topics in Coding (ISTC)*, Montreal, QC, Canada, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISTC49272.2021.9594128.
19. S. Brkic, P. Ivaniš and B. Vasić, "Adaptive Gradient Descent Bit-Flipping Diversity Decoding," in *IEEE Communications Letters*, vol. 26, no. 10, pp. 2257-2261, Oct. 2022, doi: 10.1109/LCOMM.2022.3195026
20. M. Shirvanimoghaddam et al., "Short Block-Length Codes for Ultra-Reliable Low Latency Communications," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 57, no. 2, pp. 130-137, February 2019, doi: 10.1109/MCOM.2018.1800181
21. D. Drajić, P. Ivaniš, "Uvod u teoriju informacija i kodovanje," IV izd. Akademska misao, Beograd, 2018.
22. D. Chase, "Class of algorithms for decoding block codes with channel measurement information," in *IEEE Trans. Inf. Th.*, vol. 18, no. 1, pp. 170-182, January 1972
23. J. Jiang and K. R. Narayanan, "Iterative Soft-Input Soft-Output Decoding of Reed-Solomon Codes by Adapting the Parity-Check Matrix," in *IEEE Trans. Inf. Th.*, vol. 52, no. 8, pp. 3746-3756, Aug. 2006,
24. M. Baldi, F. Chiaraluce, "A Simple Scheme for Belief Propagation Decoding of BCH and RS Codes in Multimedia Transmissions", in *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*, Vol. 2008, Article ID 957846, 12 p.
25. E. Nachmani, Y. Be'ery and D. Burshtein, "Learning to decode linear codes using deep learning," *2016 54th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton)*, Monticello, IL, USA, 2016, pp. 341-346, doi: 10.1109/ALLERTON.2016.7852251
26. L. Lugosch and W. J. Gross, "Neural offset min-sum decoding," *2017 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)*, Aachen, Germany, 2017, pp. 1361-1365, doi: 10.1109/ISIT.2017.8006751
27. E. Nachmani, E. Marciano, L. Lugosch, W. J. Gross, D. Burshtein and Y. Be'ery, "Deep Learning Methods for Improved Decoding of Linear Codes," in *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 12, no. 1, pp. 119-131, Feb. 2018, doi: 10.1109/JSTSP.2017.2788405
28. E. Nachmani and Y. Be'ery, "Neural Decoding With Optimization of Node Activations," in *IEEE Communications Letters*, vol. 26, no. 11, pp. 2527-2531, Nov. 2022, doi: 10.1109/LCOMM.2022.3197974
29. K. Tian, C. Yue, C. She, Y. Li and B. Vucetic, "A Scalable Graph Neural Network Decoder for Short Block Codes," *ICC 2023 - IEEE International Conference on Communications*, Rome, Italy, 2023, pp. 1268-1273, doi: 10.1109/ICC45041.2023.10278711
30. J. Milojković, S. Brkic, P. Ivaniš and B. Vasić, "Learning to Decode Linear Block Codes using Adaptive Gradient-Descent Bit-Flipping," *2023 12th International Symposium on Topics in Coding (ISTC)*, Brest, France, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISTC57237.2023.10273470
31. J. Milojković, S. Brkić, P. Ivaniš and B. Vasic, "Optimization of the iterative decoding algorithms for irregular block codes," *2024 32nd Telecommunications Forum (TELFOR)*, Belgrade, Serbia, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/TELFOR63250.2024.10819061
32. J. Milojković, S. Brkić, P. Ivaniš and B. Vasić, "Generalized Adaptive Diversity Gradient Descent Bit-Flipping with a Finite State Machine," *Entropy*, vol. 27, no. 1, paper no. 49, January 2025, doi: 10.3390/e27010049, ISSN: 1099-4300

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе у овом истраживању су следеће:

- Побољшање поузданости преноса података и повећање протока у савременим телекомуникационим системима обезбеђује се применом линеарних блок кодова и одговарајућег итеративног алгорита декодовања. У случају када се за исправљање грешака користе LDPC кодови, разне варијанте BP алгорита представљају стандардно решење које обезбеђује поуздан пренос уз комплексност која расте линеарно са дужином кодне речи. Ако се за исправљање грешака користе BCH кодови, оптимални декодер има комплексност која расте са квадратом дужине кодне речи, док је BP алгоритам подоптималан и његовом применом се не достиже ML граница.
- Пред савремене телекомуникационе системе постављају се све строжији захтеви у погледу ниске комплексности имплементације, малог кашњења и великих захтеваних информационих протока. Зато постоји потреба за развојем алгорита који би постигао добре перформансе уз малу комплексност имплементације. Мало кашњење при декодовању је могуће постићи ако би се успешно декодовање обавило након малог броја итерација, од којих се свака састоји од једноставних математичких операција.
- Недавно је показано да алгоритми декодовања базирани на GDBF алгоритму имају перформансе упоредиве са онима које постиже BP алгоритам у случају када је контролна матрица линеарног блок кода ретка. Зато је овај алгоритам до сада првенствено примењиван за декодовање LDPC кодова. Недавно спроведене анализе показују да постоји простор за додатно унапређење до сада предложених решења.
- У случају када се у телекомуникационом систему користи више класа заштитних кодова, постоји потреба за једним алгоритмом који би обезбедио добре перформансе декодовања за сваку од тих класа кодова. Тако би алгоритам који успешно декодује и LDPC и BCH кодове значајно олакшао дизајн модема који се користи у преносу на сателитском линку.

4. Научне методе истраживања

При изради дисертације ће бити коришћене следеће методе истраживања:

- Анализа научно-стручне литературе из области кодовања и алгорита декодовања.
- Анализа постојећих итеративних алгорита декодовања линеарних блок кодова и сагледавање њихових ограничења.
- Софтверска имплементација постојећих метода за елиминацију трапинг сетова при декодовању LDPC кодова, за разне типове канала.
- Анализа специфичности Танерових графова који одговарају линеарним блок кодовима.
- Преглед и имплементација метода за хеуристичку оптимизацију параметара система у циљу побољшања његових перформанси.
- Развој Монте-Карло симулационог модела којим се процењују перформансе различитих алгорита декодовања, за дате карактеристике комуникационог канала.

5. Очекивани научни доприноси

Очекивани научни доприноси су следећи:

- Детаљан преглед литературе и публикованих резултата истраживања из области заштитних кодова и алгорита декодовања.
- Разматрање могућности побољшања перформанси у односу на постојеће алгоритме декодовања који за основу имају GDBF, увођењем нових концепата у раду декодера.

- Биће развијен метод за оптимизацију коефицијената декодера, који ће бити ефикасан за различите типове канала и различите врсте линеарних блок кодова.
- Биће уведен појам потенцијала, који је придружен сваком варијабилном чвору, при чему потенцијал представља информацију из канала која се у претходним приступима није узимала у обзир.
- Посебно ће бити размотрено решење у коме се сваком варијабилном чвору придружује коначни аутомат, којим се одређују параметри алгоритма декодовања.
- Развој алгоритама декодовања који ће за сличну имплементациону цену дати перформансе које су упоредиве са онима које постиже ВР алгоритам.
- Развој Монте Карло симулационог модела система чијом применом се могу проценити перформансе система LDPC и BCH кодова, за изабрани алгоритам декодовања.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање ће бити спроведено кроз неколико фаза:

- Преглед постојећих алгоритама заштитног кодовања.
- Примена концепта потенцијала у генерализованом AD-GDBF декодеру, у циљу унапређења перформанси при декодовању LDPC и BCH кодова, када се пренос обавља кроз AWGN канал.
- Оптимизација параметара AD-GDBF декодера, тако да се побољшане перформансе при декодовању LDPC и BCH кодова постигну за мањи број итерација, чиме ће бити обезбеђено мање кашњење у односу на постојећа решења.
- Примена концепта коначних аутомата за фино подешавање параметара алгоритма, у циљу додатног побољшања перформанси при декодовању LDPC кодова, када се пренос обавља кроз BSC или AWGN канал.
- Конструисање унапређења алгоритама декодовања за LDPC и BCH кодове, користећи нове концепте у раду декодера.
- Развој Монте Карло симулационог модела окружења у програмском пакету MATLAB које служи за процену перформанси разматраних алгоритама декодовања.
- Објављивање резултата кроз научне публикације.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације, увида у досадашњи научно-стручни рад кандидата, објављених научних радова, образложења теме докторске дисертације и успешне јавне одбране, закључујемо да је кандидат Јован Милојковић способан за самосталан научно-истраживачки рад, као и да испуњава све услове за пријаву теме докторске дисертације.

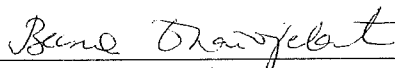
Комисија сматра да је тема „Итеративно декодовање линеарних блок кодова алгоритмима мале комплексности“ (енгл. „*Low complexity iterative decoding of linear block codes*“) научно заснована, у складу са савременим истраживањима, да очекивани резултати дисертације представљају оригиналан научни допринос и да је тема адекватна за докторску дисертацију.

Комисија констатује да предложена тема припада ужој научној области Телекомуникације за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан и предлаже за ментора докторске дисертације др Предрага Иваниша, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

На основу свега наведеног Комисија предлаже Научно-наставном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да прихвати тему докторске дисертације „Итеративно декодовање линеарних блок кодова алгоритмима мале комплексности“ и да одобри кандидату Јовану Милојковићу израду докторске дисертације под наведеним насловом.

Београд, 11.4.2025. године

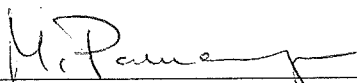
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Весна Благојевић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Бане Васић, редовни професор
University of Arizona - Department of Electrical and Computer Engineering



др Марија Рашајски, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет