

**Наставно-научном већу
Математичког факултета
Универзитета у Београду**

Одлуком Наставно-научног већа Математичког факултета Универзитета у Београду донетом на 343. седници, одржаној 19.05.2017. године именовани смо у Комисију за преглед и оцену рукописа „**Функционално и императивно реактивно програмирање употребом генерализације монаде наставка у програмском језику C++**“ кандидата **Ивана Чукића**. На основу увида у садржај дисертације подносимо следећи

Извештај

Биографија кандидата

Иван Чукић је рођен 14. марта 1983. у Београду. Завршио је Математичку гимназију у Београду. Дипломирао је на Математичком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Рачунарство и информатика 2009. године, са просечном оценом 9,50. Уписао је докторске студије на Математичком факултету 2009. године и положио је све предвиђене предмете са просечном оценом 10.

Током докторских студија радио је као сарадник (2009-2011) и асистент (2011-2018) на Математичком факултету и држао вежбе из више предмета (Рачунарска графика, Развој софтвера, Обрада дигиталних слика, Конструкција и анализа алгоритама, Објектно-оријентисано програмирање, Функционално програмирање). У једном периоду је са делом радног времена радио као истраживач приправник и истраживач сарадник на Математичком институту САНУ (2011 – 2016) и изводио менторску наставу у Математичкој гимназији у Београду.

Као запажен члан заједнице отвореног кода, учествује као један од главних програмера на пројекту *KDE*. Био је два пута као студент и три пута као ментор учесник програма *Google Summer of Code*. Софтвер настао у овим пројектима користе стотине милиона корисника.

Учествује на пројекту „III44006“ Министарства просвете, науке и технолошког развоја и на пројекту *Cendari*, у оквиру програма *FP7* Европске уније.

Аутор је књиге *Functional programming in C++*, *Manning Publishing*, 2018. Био је пленарни предавач на конференцији *C++ Siberia 2017* и предавач по позиву на још 7 конференција.

Предмет и садржај докторске дисертације

Предмет докторске дисертације припада примарно области развоја софтвера, али и областима програмских језика и конструкције алгоритама. Истраживања у области развоја

софтвера су интензивна од самих почетака примене рачунара, а посебан значај добијају последњих деценија, због интензивног пораста обима и значаја развоја софтвера као једне од најбрже растућих привредних грана. Један од основних циљева ових истраживања је проналажење нових и унапређивање постојећих метода развоја софтвера, како уопштено, тако и за решавање специфичних врста проблема. Нове развојне методе обично обухватају нове програмске технике, које обично почивају на новим алгоритамским концептима или на новим применама постојећих концепата.

Докторска дисертација кандидата Ивана Чукића посвећена је решавању проблема који настају при развоју програмских система чије се компоненте извршавају међусобно асинхроно. Таквих проблема има много, од дистрибуираних израчунавања или данас свуда присутних система са сервисно оријентисаном архитектуром, па све до елемената оперативних система или програма који користе различите технике паралелизације. Постојећи методи писања асинхроног програмског кода доносе бројна усложњавања програма, која су углавном последице извртања контроле извршавања (енг. *Inversion of Control*), која доводи до дељења програмског кода на раздвојене парчиће, који се тешко сагледавају као целина, па се зато тешко и развијају о одржавају.

У дисертацији је представљен нови метод за писање асинхроних програма, који је изграђен над концептом монаде наставка. Нови концепт је представљен у два облика, за две главне програмске парадигме, у виду функционалног реактивног програмирања и императивног реактивног програмирања.

Кратак приказ докторске дисертације

Рукопис има 173 странице, од чега је основни текст 144 странице и прилози са списком литературе 29 страница. Рукопис је писан на енглеском језику и има следећу структуру:

1. *Introduction*
2. *Motivation and background overview*
3. *Functional reactive programming*
4. *Imperative reactive programming*
5. *Implementation*
6. *Discussion and conclusion*

На почетку је наведен резиме на енглеском и српском језику. На крају су наведени додаци (*A. Relation to KDE Plasma*, *B. Community survey* и *C. Extending the QFuture*), списак литературе и биографија кандидата.

Уводно поглавље укратко представља мотивацију, доприносе и организацију дисертације.

Друго поглавље детаљније представља асихроно програмирање и постојећа решења. Указује се на основне проблеме. Уводе се неки основни појмови и представљају се неке важније технике програмског језика C++, које се користе у даљем раду. Представљају се елементи теорије категорија, који представљају мотивацију за концепт монаде у програмирању.

У трећем поглављу се излаже концепт употребе генерализације монаде наставка за имплементацију програмских система у облику токова података, као и технике за трансформисање токова података. Заокружује се концепт функционалног реактивног програмирања као решење за писање функционалних програма без извртања контроле.

У четвртом поглављу се на основу генерализације монаде наставка дефинишу структуре за контролу тока програма, које омогућавају универзалну контролу како синхроних тако и асинхроних задатака. Представља се концепт императивног реактивног програмирања без експлицитног извртања контроле, чиме се превазилази један од основних проблема у области.

У петом поглављу се описује имплементација представљених приступа уз примену савремених програмских техника које омогућава нови стандард програмског језика C++.

Шесто поглавље садржи дискусију и поређења резултата са постојећим решењима. Истичу се основне карактеристике резултата.

Додатак А представља нешто старије облике представљених решења, које је кандидат користио у имплементацији делова пројекта *KDE*. Додатак Б представља анкету заједнице професионалних програмера о разумљивости асинхроних делова кода писаних применом нових концепата. Додатак Ц представља примену представљене технике функционалног реактивног програмирања за проширивање библиотеке *Qt*.

Кључни доприноси

Кључни доприноси докторске дисертације Ивана Чукића су:

- Обликовање обједињене апстракције за различите врсте синхроних и асинхроних послова, која почива на монади наставка. Тиме се програмерима омогућава да користе исте основне елементе кода без обзира на синхрону/асинхрону природу проблема који се решава. [Поглавља 3 и 4.]
- Направљен је развојни оквир за функционално реактивно програмирање (ФРП) на п.ј. C++, који омогућава описивање логике софтверског система као серије трансформација улазног тока података, на бази концепта реактивних токова. На тај начин се програмеру омогућава да развија асинхрони код уз коришћење функционалног стила програмирања, на исти начин као да се ради о синхроном коду. [Поглавље 3.]
- Развијен је модел оптимизације управљања меморијом за имплементиран ФРП оквир, који почива на архитектури проточног система и гарантује да се неће вршити непотребна сувишна копирања података, а без потребе за сакупљачем отпадака. [Поглавља 3 и 5.]
- Развијено је решење за уланчавање синхроних и асинхроних послова које почива на употреби примитива које подражавају структуре за контролу тока програма програмског језика C++. На тај начин се омогућава императивно реактивно програмирање и избегава се дељење програма на мале делове који не представљају логичке целине већ само омогућавају инверзију контроле. [Поглавље 4.]
- Развијени методи су примењени и проверени у пракси. Показано је да, ако су добро имплементирани, предложени концепти из поглавља 3 и 4 не производе додатно заузеће процесорског времена и меморије. Тиме је показано да је допринос у погледу унапређене структуре и ефикасности кодирања и одржавања кода остварен без компромиса у погледу перформанси. [Поглавља 5 и 6, прилози.]

Научни и стручни рад

Иван Чукић је највећи део својих истраживања посветио анализи и унапређењу метода асинхроног програмирања. Поред тога активно је учествовао у већем броју других научних и

стручних пројеката.

Радови у часописима на SCI листи

- [1] I.Čukić: **A continuation-based task programming model for C++: design of the Causeway library**, Software: Practice and Experience, DOI: 10.1002/spe.2395;
- [2] (*прихваћен*, DOI: 10.1145/3092906) N.Boukhelifa, N.Bulatović, M.Bryant, I.Čukić, J.D.Fekete, M.Knežević, J.Lehmann, D.Stuurs, C.Thiel: **The CENDARI Infrastructure**, Journal of Computing and Cultural Heritage, ACM Journal on Computing and Cultural Heritage;

Радови у часописима:

- [3] I.Čukić: **Intellectual property rights and the Free/Libre licenses for publishing knowledge and data**, Review of the National Center for Digitization, Issue 24;
- [4] (*прихваћен*) I.Čukić: **Functional reactive programming in C++**, Central European Functional Programming School: 6th Summer School, CEFP 2015, Springer, Lecture Notes in Computer Science Series;

Књиге:

- [5] I.Čukić: **Functional Programming in C++**, Manning Publications, 2018, ISBN:1617293814

Пленарна предавања:

- [6] I.Čukić: **Keynote**, C++ Siberia 2017, Tomsk, Russia;

Остала предавања по позиву:

- [7] I.Čukić: **2020: A void_t odyssey**, C++ Russia 2018, St. Petersburg, Russia;
- [8] I.Čukić: **The beast is becoming functional**, Corehard 2017, Minsk, Belarus;
- [9] I.Čukić: **Algebraic Data Types**, C++ Party 2017, Akademgorodok (Novosibirsk), Russia;
- [10] I.Čukić: **Going Functional**, C++ Russia 2017, Moscow, Russia;
- [11] I.Čukić: **QtFuture**, C++ встреча, 2016, Nizhny Novgorod, Russia;
- [12] I.Čukić: **Reactive programming in C++**, CEFP – Central European Functional Programming 2015, Budapest, Hungary;
- [13] I.Čukić: **Task Scheduling with the Continuation Monad**, C++ Russia 2015, Moscow, Russia;

Техничка решења:

- [14] I.Čukić, M.Knežević, Z.Ognjanović, M.Rašković, Z.Marković, D.Vojislav, A.Perić-Popadić, S.Rašković, N.Glišović, P.Maksimović: **Elektronski zdravstveni karton pacijenata Klinike za alergologiju i imunologiju Klinickog centra Srbije**, Matematički institut SANU.

Остало:

Био је члан члан програмског комитета међународних конференција *aKademy* 2015 и 2017 и Meeting C++ 2015, 2016 и 2017.

Поред наведених предавања по позиву, излагао је на још 13 међународних и 5 националних конференција.

Био је члан организационог комитета за националну конференцију „Вероватносне логике и њихове примене“ МИСАНУ година 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 и 2017 и припремао књиге апстраката за конференцију „Вероватносне логике и њихове примене“ у претходно наведеним годинама.

Закључак и предлог комисије

Разматрани рукопис представља вредан резултат и садржи више значајних доприноса у области рачунарства и посебно ужих области развоја софтвера, програмских језика и конструкције алгоритама. У дисертацији је представљен нови метод за писање асинхроних програма, који је изграђен над концептом монаде наставка. Нови концепт је представљен у два облика, за две главне програмске парадигме, у виду функционалног реактивног програмирања и императивног реактивног програмирања.

Кандидат је појединачне резултате представљене у дисертације објавио у научном раду и представио на већем броју престижних међународних скупова посвећених програмском језику С++ и методама програмирања на п.ј. С++. На основу представљених резултата је препознат као водећи познавалац ових области и позван да напише књигу о функционалним аспектима програмирања на п.ј. С++, што је прва књига у издању неког реномираног издавача у глобалним размерама објављена на ову тему.

На основу свега наведеног, као и на основу испуњености свих формалних услова, предлажемо да се рукопис „*Functional And Imperative Reactive Programming Based On A Generalization Of The Continuation Monad In The C++ Programming Language*“ („Функционално и императивно реактивно програмирање употребом генерализације монаде наставка у програмском језику С++“), кандидата Ивана Чукића, прихвати као докторска дисертација и да се одреди комисија за њену одбрану.

Београд, 15. април 2018.

Комисија:

др Ненад Митић, ванредни професор (ментор)

др Миодраг Живковић, редовни професор

др Саша Малков, ванредни професор

др Владимир Филиповић, ванредни професор

Dr Zoltan Porkolab, Eötvös Loránd University, Будимпешта, Мађарска