

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију</p> <p>30.05.2013., Наставно научно веће Факултета техничких наука, Нови Сад</p> <p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> • др Јованка Пантовић, редовни професор, ужа научна област Математика, датум избора у звање 24.6.2010., Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду – председник • Pierre Lescanne, Ph.D, редовни професор, ужа научна област Рачунарске науке, École normale supérieure de Lyon - члан • José Carlos Espírito Santo, Ph.D, редовни професор, ужа научна област Математика, Departamento de Matemática, Universidade do Minho - члан • Silvia Likavec, Ph.D, доцент, ужа научна област Рачунарске науке, Dipartimento di Informatica, Università degli Studi di Torino - члан • др Силвиа Гилезан, редовни професор, ужа научна област Математика, датум избора у звање 24.2.2005., Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду – ментор
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Јелена, Бранислав, Иветић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 4.3.1976., Нови Сад, СФРЈ</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Факултет техничких наука, Математика у техници, Дипломирани инжењер примењене математике - мастер</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2008., Математика у техници</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Факултет техничких наука, Формални рачуни за интуиционистичку логику, Примењена математика, 4.1.2008.</p>
<p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Примењена математика</p>

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Intersection types and resource control in the intuitionistic sequent lambda calculus

Типови са пресеком и контрола ресурса у интуиционистичком секвентном ламбда рачуну

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикана и сл.

Дисертација је написана на енглеском језику, на 170 страна, и укључује 48 слика. Текст дисертације претходи проширени апстракт на српском језику. Садржај дисертације је распоређен у 7 поглавља.

- Прво поглавље је уводно.
- У другом поглављу је представљен секвентни рачун, логички систем закључивања који представља теоријску основу оригиналног дела дисертације.
- Треће поглавље чини осврт на формалне рачуне који су од највећег значаја за настанак и развој формалних рачуна који чине оригинални део тезе.
- У четвртном поглављу је представљен *lambda Gentzen* рачун, уведен је типски систем са пресеком и доказане су најважније особине овог рачуна.
- У петом поглављу је уведено проширење *lambda Gentzen* рачуна, по имену *resource control lambda Gentzen* рачун, у коме је омогућена контрола ресурса захваљујући операторима који представљају рачунске пандане структурним правилима секвентног рачуна. Затим је уведен адекватан типски систем са пресеком, и доказане су битне особине представљеног система.
- Шесто поглавље уводи *resource control cube*, структуру која комбинује и уопштава рачуне и типске системе представљене у претходна два поглавља.
- Последње поглавље је закључно, и садржи преглед оригиналних резултата тезе, као и смернице за даљи наставак истраживања.

Списак коришћене литературе садржи 75 релевантних, већином веома актуелних референци.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Наслов дисертације је јасно формулисан, садржи кључне речи истраживања, те адекватно репрезентује тему и садржај дисертације.

Уводни део дисертације на почетку даје кратак историјски осврт на развој логике у рачунарству, са нагласком на рачунске интерпретације појединих логичких система. У њему су неформално уведене и објашњене кључне речи дисертацијом обрађене теме, а потом је дата мотивација за оригинални део истраживања. На крају увода је представљен садржај остатка тезе. Комисија сматра да је увод по свом обиму и садржају одговарајући.

Друго и треће поглавље у основним цртама дају теоријске оквире на којима се заснивају оригинални резултати. У другом поглављу је приказан секвентни рачун за интуиционистичку логику, формални систем доказивања који представља логичку основу формалних рачуна којима се теза бави. У трећем поглављу су хронолошким редом приказана четири формална рачуна са термима која су највише утицала на развој формалних рачуна и типских система који су предмет истраживања. Теоријски преглед је концизно изложен, са количином информација која је довољна за разумевање наставка тезе, а без непотребних техничких детаља. У овом делу су наведена и тврђења на која се кандидат позива приликом појединих доказа у наредним поглављима, са јасним ознакама референтних радова. Комисија констатује да је кандидат у овом делу показао задовољавајуће познавање теоријских основа реализованог истраживања.

Четврто поглавље је посвећено проучавању *lambda Gentzen* рачуна, формалног рачуна са термима који представља рачунску интерпретацију интуиционистичког секвентног рачуна са имплицитним структурним правилима, те стога представља и полазну тачку овог истраживања. Делови 4.1 и 4.2.1 овог поглавља приказују досадашње резултате у домену синтаксе, операцијске семантике и основног типског система *lambda Gentzen* рачуна. Остали делови поглавља представљају прве оригиналне резултате ове дисертације. У делу 4.2 уведен је типски систем са пресеком који интегриса пресек у већ постојећа правила основног типског система. Наведени су и претходни неуспешни покушаји конструкције овог типског система, са анализом разлога њихове неуспешности и начином превазилажења проблема. Потом је у делу 4.3 овог поглавља показано да предложени систем задовољава основни разлог увођења типова са пресеком тј. да терми *lambda Gentzen* рачуна имају тип у овом систему ако и само ако имају особину јаке нормализације. У функцији овог централног резултата је формулисан и доказан већи број помоћних тврђења. На крају поглавља, у делу 4.4, предложено је решење за проблем одсуства конfluентности *lambda Gentzen* рачуна, засновано на модификацији синтаксе и рестриктивнијим правилима редукције. На тај начин су добијена два под-рачуна, а затим је адаптацијом технике паралелних редукција доказано да су добијени рачуни конfluентни.

Пето поглавље у потпуности представља оригиналан допринос дисертације, а посвећено је *resource control lambda Gentzen* рачуну. Овај рачун представља проширење *lambda Gentzen* рачуна у ком је омогућена експлицитна контрола структурних правила контракције и слабења. У делу 5.1 су уведене синтакса и операцијска семантика, и дефинисана је веза између овог рачуна и *lambda Gentzen* рачуна. Синтакса је обогаћена операторима контракције и слабења. Правила редукције су конструисана тако да се контраховање обавља што раније, а слабење одлаже колико год је могуће, чиме се постиже оптималност израчунавања. Део 5.2 проучава основни типски систем и даје доказ јаке нормализације овог система. У делу 5.3 су уведени типови са пресеком у циљу добијања система који у потпуности карактерише својство јаке нормализације. Уведени типски систем додељује термима подврсту типова са пресеком – стриктне типове, и одликују га синтаксна директност и велика експресивност, будући да је конструисан тако да променљивама са различитим улогама додељује различите врсте типова. Завршни део поглавља чини комплексан, прецизан и детаљан доказ оба смера импликације који заједно доказују да у посматраном систему терм има тип ако и само ако задовољава својство јаке нормализације.

Последњи део оригиналних резултата приказан је у шестом поглављу, у коме је представљена структура по имену *resource control cube*, која се састоји од осам формалних рачуна који се разликују по имплицитном или експлицитном третману структурних оператора, као и по логичком систему на ком се заснивају. На овај начин, рачуни проучавани у претходна два поглавља, као и одговарајући типски системи, су интегрисани у једну целину. Ово поглавље садржи три дела: део 6.1 уводи основне појмове рачуна без типова, у делу 6.2 су представљени основни типски системи, док је у делу 6.3 пажња усмерена ка типовима са пресеком. Овај део не садржи тврђења, већ се завршава примером типизирања у сваком од осам типских система са пресеком, којим су илустроване сличности и разлике између система.

Комисија констатује да су претходна три поглавља која представљају централни део тезе написана прегледно и јасно, да су уредно дефинисани сви потребни појмови, објашњени и примерима илустровани сложенији концепти. Тврђења су прецизно формулисана и исцрпно и јасно доказана, а приказана материја је уобличена у конзистентну и комплетну целину која одговара циљевима дефинисаним у предлогу садржаја истраживања.

Завршно поглавље садржи сажет резиме доприноса дисертације са освртом на њихов значај, могућности примене и могуће правце наставка истраживања.

Теза се завршава листом коришћене литературе која садржи 75 референци. Комисија утврђује да је литература веома актуелна, релевантно коришћена у дисертацији и коректно цитирана.

Закључно, комисија позитивно оцењује све поједине делове дисертације.

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

1. J. Espirito Santo, **J. Ivetić**, S. Likavec: *Characterising strongly normalising intuitionistic terms*. Fundamenta Informaticae, vol. 121, pages 87 – 124, IOS Press, Netherlands (2012). (M23)
2. S. Ghilezan, **J. Ivetić**: *Intersection types for intuitionistic lambda- Gentzen calculus*. Publications de l'Institut Mathematique, vol. 82 (96) 159-164, SANU, Serbia (2007). (M24)
3. S. Ghilezan, **J. Ivetić**, P. Lescanne, S. Likavec: *Intersection types for the resource control lambda calculi*. International Colloquium of Theoretical and Applied Computing - ICTAC 2011, Lecture Notes in Computer Science, vol.6916, pages 116-134, Springer (2011). (M33)
4. S. Ghilezan, **J. Ivetić**, P. Lescanne, D. Žunić: *Intuitionistic sequent-style calculus with explicit structural rules*. The Eight International Tbilisi Symposium on Language, Logic and Computation – Tbilisi 2009, Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 6618, pages 101-124, Springer (2011). (M33)
5. **J. Ivetić**: *Regaining confluence in lambda-Gentzen calculus*. In Proceedings of CALCOjn 2009 workshop. Technical report, University of Udine (2009). (M33)
6. J. Espirito Santo, S. Ghilezan, **J. Ivetić**: *Characterizing strongly normalising intuitionistic sequent terms*. Miculan, Honsell and Scagnetto eds., Types for Proofs and Programmes - TYPES, Lecture Notes in Computer Science, vol. 4941, pages 85-99, Springer (2008). (M33)
7. **J. Ivetić**, S. Ghilezan, P. Lescanne, S. Likavec: *Constructive approach to relevant and affine term calculi*. Constructive Mathematics: Foundations and Practise, Niš, 24 – 28. jun 2013. (M34)
8. **J. Ivetić**, S. Ghilezan, P. Lescanne, S. Likavec: *Resource aware computing with proofs*. The 84th Annual Meeting of the International Association for Applied Mathematics and Mechanics – GAMM 2013, Novi Sad, 18 – 22. mart, 2013. (M34)
9. **J. Ivetić**: *Formalni račun sa eksplicitnom kontrolom resursa*. 1. Znanstvena radionica Sustavi Dokazivanja – SD 2012, Dubrovnik, Hrvatska, 28. jun 2012. (M34)

10. **J. Ivetić**, S. Ghilezan, P. Lescanne, D. Žunić: *Intuitionistic sequent-style calculus with explicit structural rules*. The 3rd Formal nad Automated Theorem Proving and applications – FATPA 2010, Beograd, 29 – 30. januar 2010. (M34)
11. **J. Ivetić**, S. Ghilezan: *Confluence of sequent lambda calculi*. The 14th General Meeting of EWM, Novi Sad, 25 – 28 avgust 2009. (M34)
12. **J. Ivetić**, S. Ghilezan, P. Lescanne, S. Likavec: *Resource control and strong normalisation*. Verovatnosne logike i primene – VLP 2012, Beograd, 27 -28. septembar 2012. (M64)
13. **J. Ivetić**, S. Ghilezan, S. Likavec, J. Espírito Santo : Očuvanje jake normalizacije u intuicionističkim sekventnim lambda računima. 12. Srpski Matematički Kongres, 28.avgust - 2.septembar 2008. (M64)
14. **J. Ivetić**: *Formalni računi za intuicionističku logiku*. Magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu (2008).
15. **J. Ivetić**: *O nekim proširenjima lambda računa*. Diplomski - master rad, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu (2008).

VII ZAKLJUČCI ODNOSNO REZULTATI ISTRAŽIVAŃA
VII CONCLUSIONS, I.E. RESULTS OF THE RESEARCH

Rezultati istraživanja sprovedenog u okviru disertacije su sledeći:

- Predstavljeno je rešenje problema karakterizacije *lambda Gentzen* terma sa osobinom jake normalizacije, zasnovano na uvođenju tipskog sistema sa presekom u *lambda Gentzen* rачun. Uvedeni tipski sistem je inovativan po tome što je presekok ugrađen u veћ postojeћа pravila osnovnog tipskog sistema, чime je очувана синтаксна директност система. Последица оваквог решења су једноставнији и директнији докази жељених особина предложеног типског система.
- Предложен је *resource control lambda Gentzen* рачун, први формални рачун који у окружењу интуиционистичког секвентног рачуна контролише дуплирање и брисање променљивих, тј. омогућава контролу ресурса, помоћу експлицитно уведених оператора контракције и слабења. Теоријски значај предложеног рачуна се огледа у остварењу потпунијег увида у процес израчунавања, а практични у могућности оптимизације истог. Такође, овим је постигнуто и ново проширење *Curry-Howard* кореспонденције, једне од централних парадигми теоријског рачунарства.
- У предложени *resource control lambda Gentzen* рачун су уведени специфични типови са presekom, тзв. стриктни типови. На овај начин је добијен типски систем са великим степеном експресивности, будући да се променљивама са различитим улогама у терму додељују различите врсте типова. Тиме је показано да типови са presekom представљају природно окружење за рад са рачунима са контролом ресурса. Такође, доказана су битна својства овог рачуна, попут очувања типова приликом редукције, кореспонденције домена, леме о замени, јакe нормализације и карактеризације јакe нормализације. На основу свега наведеног, може се закључити да је предложени типски систем са стриктним типовима погодан кандидат за потенцијалну имплементацију рачуна са контролом ресурса.
- Коначно, представљена је структура под називом *resource control cube*, која се састоји од осам параметарски задатих рачуна у којима се варира како могућност контроле ресурса, тако и одговарајуће логичко окружење. Овим је добијен модел за генерализацију претходно проучаваних рачуна у оквиру дисертације, и њихових типских система. Коришћењем ове структуре омогућено је униформно проучавање и развијање рачунских интерпретација интуиционистичких секвентних рачуна, са

имплицитним, парцијално експлицитним и експлицитним структуралним правилима, која представљају логичке кореспонденте операторима за контролу ресурса.

The results of the research that have been presented in the dissertation are:

- A solution to the problem of the characterisation of the strongly normalising *lambda Gentzen* terms is proposed. It is based on the introduction of intersection type assignment system to the *lambda Gentzen* calculus. The proposed type assignment system is innovative due to the fact that the intersection is incorporated into already existing type assignment rules of the simply typed system, thus preserving syntax directness of the system. As a consequence of this solution, simpler and more direct proofs of the desired properties of the system are given.
- The *resource control lambda Gentzen* calculus is proposed. It is the first calculus that controls duplication and erasure of variables in the intuitionistic sequent calculus setting, i.e. enables the resource control, by explicitly introduced operators for contraction and weakening. The theoretical importance of the proposed calculus lays in enabling a more detailed insight in the computation process, whereas practical importance lays in the possibility of computation optimization. Moreover, a new extension of the *Curry-Howard* correspondence, one of the central paradigm of theoretical computer science, is obtained.
- A specific kind of intersection types, namely strict types, are introduced to the *resource control lambda Gentzen calculus*. The obtained type assignment system exhibits high level of expressivity, because different kinds of types are assigned to variables with different roles in the term. Therefore, it is demonstrated that intersection types naturally fit to the calculi with resource control. Moreover, some important features of the proposed typed calculus are proved, such as preservation of type during computation, domain correspondence, substitution lemma, strong normalisation and characterisation of strong normalisation. Based on the presented, it can be concluded that the proposed strict type assignment system represents a convenient candidate for the potential implementation of the resource control calculus.
- Finally, a structure called the *resource control cube* is introduced, consisting of eight term calculi parameterized with both the resource control operators and corresponding logical framework. In that way a system that generalizes the previously studied calculi and their type assignment systems is obtained. The resource control cube also enables the uniform study and the development of the computational interpretation of intuitionistic sequent calculi with implicit, partially explicit and explicit structural rules, since these rules represent logical counterparts to the resource control operators.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

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

VIII EVALUATION OF THE PRESENTATION AND INTERPRETATION OF THE RESEARCH RESULTS

Explicitly give a positive or negative evaluation of the presentation and interpretation of the research results.

Оригинални резултати истраживања представљени у овој дисертацији су систематично и прегледно изложени, са задовољавајуће постигнутом равнотежом између математичке формалности и неформалних објашњења. Дефинисани су сви неопходни појмови, тврђења су прецизно формулисана и детаљно доказана, сложенији концепти су додатно дискутовани и илустровани примерима. Приказ резултата је употпуњен са 48 слика и табела.

На основу изложеног, комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

The original research results proposed in this dissertation are presented in a systematically adequate and laid out manner, with the satisfactory achieved balance between mathematical formality and informal explanations. All of the necessary concepts are defined, the propositions are well-formulated and proved in detail, some more demanding concepts are additionally discussed and illustrated by a number of examples. Furthermore, the presentation of the results is completed with 48 figures and tables.

Based on the above, the committee positively evaluates the presentation and interpretation of the research results.

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:

IX FINAL EVALUATION OF THE DOCTORAL DISSERTATION

Explicitly state whether or not the dissertation is written in accordance with the provided elaboration, as well as whether or not it contains all of the relevant elements. Provide clear, precise, and concise answers to questions 3 and 4:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

Да, дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

Is the dissertation written in accordance with the elaboration stated in the submission of the topic of the thesis?

Yes, the dissertation is written in complete accordance with the elaboration stated in the submission of the topic of the thesis.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Да, дисертација садржи све битне елементе предвиђене за овакву врсту научног рада: теоријски увод са прегледом стања у области и јасном мотивацијом истраживања, систематски и прегледно изложене оригиналне резултате истраживања, закључак и свеобухватан списак коришћене литературе.

Does the dissertation contain all of the relevant elements?

Yes, the dissertation contains all of the relevant elements expected for this type of the scientific research: the theoretical introduction with an overview of the relevant results in the field of the research and clear motivation, clearly written and systematically presented original results, the conclusions, and the comprehensive bibliography listing.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Оригиналан допринос ове дисертације области логике у рачунарству се огледа у:

- иновативном начину увођења типова са пресеком и формалне рачуне са термима, у циљу конструкције адекватног типског система за ламбда Gentzen рачун;
- развоју првог формалног рачуна који комбинује контролу ресурса и интуиционистичко секвентно окружење;
- проучавању интеракције између оператора за контролу ресурса и типова са пресеком, које је резултовало новим поимањем улоге пресека у формалним рачунима, као и новим могућностима примене заснованим на такозваним стриктним типским системима;
- предлагању структуре која параметризује операторе за контролу ресурса у оквиру интуиционистичких формалних рачуна са имплицитном супституцијом, те стога омогућава њихово униформно проучавање и развој.

Оригиналноост и значај дисертације су додатно потврђени чињеницом да је већи део резултата публикован у научним часописима или презентован на међународним конференцијама.

In what way does the dissertation provide an original contribution to science?

The original contribution of the thesis to the field of logic in computer science consists of:

- an innovative way of introducing intersection types to term calculi, in order to obtain an adequate type assignment system for the lambda Gentzen calculus;
- the development of the first term calculus that combines the notion of resource control and intuitionistic sequent setting;
- the study of the interaction between the resource control operators and intersection types, that resulted in a novel perspective on the role of the intersection in term calculi, as well as in new application possibilities based on the so-called strict type assignment systems;
- the development of a structure that parameterizes the resource control operators in the framework of intuitionistic term calculi with implicit substitution, and therefore provides a method for their uniform studying and development.

The originality and value of the dissertation are confirmed by the fact that the majority of the results is published in scientific journals or presented at international conferences.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Дисертација нема недостатака.

The shortcomings of the dissertation and their influence on the results of the research.

The dissertation does not have shortcomings.

X ПРЕДЛОГ:
X SUGGESTION:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

- да се докторска дисертација кандидата мр Јелене Иветић, под називом *Типови са пресеком и контрола ресурса у интуиционистичком секвентном ламбда рачуну*, прихвати, а кандидату одобри одбрана.

Based on the overall evaluation of the dissertation, this committee suggests:

- **that the doctoral dissertation of the candidat Jelena Ivetić, M.Sc, titled *Intersection types and resource control in the intuitionistic sequent lambda calculus*, be accepted, and the candidate be granted the right to defend it.**

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

SIGNATURES OF THE COMMITTEE MEMBERS

др Јованка Пантовић, редовни професор, председник

Pierre Lescanne, Ph.D, редовни професор, члан

José Carlos Espírito Santo, Ph.D, редовни професор, члан

Silvia Likavec, Ph.D, доцент, члан

др Силвиа Гилезан, редовни професор, ментор

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.