

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/153



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J2-2339
Naslov projekta	Kontrola sodostopa do skupnega prenosnega kanala in mehanizmi razvrščanja v zankastem omrežju WiMAX
Vodja projekta	16386 Andrej Kos
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4650
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2012
Nosilna raziskovalna organizacija	1538 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.08 Telekomunikacije
Družbeno-ekonomski cilj	04. Prevoz, telekomunikacije in druga infrastruktura

2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

Šifra	2.02
- Veda	2 Tehniške in tehnološke vede
- Področje	2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta²

SLO

Temeljini raziskovalni projekt »Kontrola sodostopa do skupnega prenosnega kanala in mehanizmi razvrščanja v zankastem omrežju WiMAX« je naslavljal področje širokopasovnih brezžičnih dostopovnih telekomunikacijskih rešitev z zagotovljeno kakovostjo, s posebnim poudarkom na mehanizmih za razvrščanje in krmiljenje sodostopa do skupnega prenosnega

medija.

Zankasto omrežje predstavlja eno ključnih brezžičnih širokopasovnih dostopovnih tehnologij v heterogenih komunikacijskih okoljih nove generacije, saj zagotavlja vzpostavitev zmogljivega, robustnega in samoozdravljivega brezžičnega komunikacijskega omrežja, ki zahvaljujoč distribuiranosti inteligence nima centralne točke odpovedi in je zato aktualno za širok spekter aplikacij, npr. vzpostavitev senzorskih sistemov za obveščanje v primeru naravnih nesreč, implementacijo komunikacijskih sistemov v transportu, vojaške rešitve ipd.

Ključne raziskovalne aktivnosti projekta so bile usmerjene v teoretične in praktične raziskave zasnove, načrtovanja in implementacije mehanizmov za razvrščanje in krmiljenje sodostopa v sodobnih širokopasovnih brezžičnih omrežjih četrte generacije (4G), ki temeljijo na tehnologijah WiMAX in LTE/EPC. Obravnavani mehanizmi predstavljajo ključne zmogljivosti za zagotavljanje ustreznega nivoja kakovosti storitve (QoS), robustnosti in samoozdravljivosti sistema, s tem pa pomembno raziskovalno področje omrežij nove generacije. Pridobili smo temeljna znanja na področju centraliziranih in distribuiranih mehanizmov razvrščanja in krmiljenja sodostopa, učinki katerih so neposredno aplikativni v namenskih implementacijah, kjer je potrebno zagotavljati visok nivo kakovosti oziroma povečati zmogljivosti obstoječih brezžičnih dostopovnih omrežij in dvigniti robustnost rešitve z decentralizacijo ključnih krmilnih mehanizmov. Posebej smo se osredotočili na izzive pri zasnovi in implementaciji razvrščevalnih algoritmov v implementacijah na dveh identificiranih aplikativnih področjih z visokim potencialom, t.j. komercialnih mobilnih podatkovnih dostopovnih omrežjih s podatkovnimi internetnimi storitvami, in namenskih profesionalnih sistemih za krizno reševanje. Pripravili smo arhitekturno in funkcionalno zasnovo krmiljenja dostopa za primer komercialnega podatkovnega 4G mobilnega omrežja in predlagali nadgrajeno shemo, na podlagi te pa izvedli nize simulacij delovanja izbranih metod v okviru procedur za krmiljenje dostopa z uporabo samoorganizacijskih tehnik (SON) ter potrdili predpostavko, da so omrežja, ki temeljijo na sodobnih brezžičnih tehnologijah, kot npr. WiMAX in LTE/EPC, zmožna z implementacijo naprednih mehanizmov za krmiljenje dostopa zagotavljati ustrezen nivo kakovosti storitve, robustnosti in samoorganizacije.

S tem je raziskava naslovlila pomembno znanstveno in razvojno-raziskovalno področje, projekt kot celota pa doprinesel učinke v obliki znanstvenih doprinosov, prenosa znanj v aplikativno sfero in krepitev sodelovanja med raziskovalnimi inštitucijami in industrijo.

ANG

The basic research project »Admission control and scheduling mechanisms in WiMAX mesh networks« addressed a challenging area of wireless broadband access solutions with guaranteed quality and reliability, resulting in significant contributions in the specific field of scheduling mechanisms and admission control approaches for controlled access to shared media. Mesh networks represent one of the key broadband wireless access technologies in heterogeneous next generation environments, capable of providing efficient, robust and self-healing wireless communications solution. Due to high level of decentralization, the single point of failure is diminished, providing high applicability of the solution for a wide range of applications, such as capacity enhancements of existent wireless access solutions, establishment of emergency sensor systems, military solutions etc.

The core activities of the project were focused on theoretical and applicative research of design and implementation of scheduling and admission control mechanisms in modern broadband wireless networks of the fourth generation (4G) using WiMAX and LTE/EPC technologies. The addressed mechanisms represent vital functionalities for appropriate quality of service provisioning, robustness and self-healing characteristics of the system, hence representing an important research direction in the field of next generation networks. The project resulted in expertise in the field of centralized and distributed scheduling and admission control mechanisms, the outcomes of which are directly applicable to specialized implementations where high level of quality and reliability must be achieved by means of decentralized admission control or where capacities of existent access networks need to be enhanced appropriately. Special focus was placed on challenges in design and implementation of scheduling algorithms in two highly potential applicative domains, that is, commercial mobile data access networks with data Internet services, and professional emergency response systems. Architectural and functional design of admission control infrastructure was prepared for commercial data-driven 4G mobile network. An enhanced design was proposed, based on which simulation series of selected methods for admission control using self-organized techniques (SON) were executed. The results confirmed the hypothesis that networks using modern wireless technologies such as WiMAX and LTE/EPC are capable of providing high level of quality of service, robustness and self-organization if using advanced admission control mechanisms.

Hereby, the basic research addressed an important scientific and research area, and the project as a whole resulted in considerable outcomes in the form of scientific contributions, knowledge transfer into applicative research as well as strengthening of efficient cooperation

between academia and industry.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

Pomemben segment telekomunikacij predstavljajo namenske infrastrukturno-storitvene komunikacijske rešitve s karakteristikami širokopasovnosti, brezžičnosti, mobilnosti, kakovosti, robustnosti, zmogljivosti in samoozdravljivosti. Tovrstne rešitve so ključnega pomena na različnih aplikativnih področjih, kot so npr. komercialna brezžična in mobilna dostopovna omrežja, komunikacijska infrastruktura za obveščanje v kriznih razmerah, vojaški brezžični komunikacijski sistemi, ipd. Hipoteza raziskovalnega projekta je bila, da so omrežja, ki temeljijo na sodobnih brezžičnih tehnologijah, kot npr. WiMAX in LTE/EPC, zmožna zagotavljati navedene karakteristike s pomočjo naprednih mehanizmov za krmiljenje sodostopa (angl. admission control mechanisms) in razvrščanja (angl. scheduling mechanisms). Le-ti skrbijo za optimalno izrabo radijskih virov, ki so v sistemu omejeni in podvrženi negativnim učinkom dinamike prenosnega kanala, s tem pa omogočajo dvig nivoja zagotovljene kakovosti storitev (angl. Quality of Service – QoS).

Tekom raziskav smo zasledovali naslednje raziskovalne cilje:

- preučiti učinkovitost razvrščanja in s tem optimalnost izkoriščenosti razpoložljive pasovne širine in drugih sistemskih virov v radijskem omrežju,
- obravnavati vidike pravičnosti razvrščanja in s tem regularne obravnave vseh uporabnikov sistema, in
- raziskati razvrščevalne sheme, ki neposredno omogočajo zagotavljanje ustreznih prenosnih razmer z možnostjo diferenciacije storitev v več razredov QoS glede na specifične zahteve storitev.

Temeljne raziskave smo umestili v praktični kontekst ciljnih aplikativnih okolij, kjer je raba tovrstnih tehnologij predvidena, saj lahko zadostijo zahtevnim specifičnim funkcionalnim in implementacijskim pogojem, kot so QoS, potrebna razpoložljivost in zanesljivost, stopnja centraliziranosti oziroma distribuiranosti, samoozdravljivost, dinamika topološke strukture ipd. Projekt smo izvajali fazno in v skladu s predloženim programom dela.

Osvojili smo temeljna znanja na področju obstoječih centraliziranih in distribuiranih mehanizmov za razvrščanje in krmiljenje sodostopa, ki so vezani na večtočkovne komunikacije v širokopasovnih brezžičnih sistemih. V ta namen smo izvedli obsežno analizo obstoječih standardov in priporočil ter rezultatov znanstvenih prispevkov s področja usmerjanja in razvrščanja v zankastih omrežjih. Izsledki kažejo, da centralizirani algoritmi prvenstveno služijo zagotavljanju povezljivosti obstoječih WiMAX arhitektur v druga omrežja, npr. povezljivost v internet, ter za potrebe razširjanja obstoječih rešitev, ki temelji na modelu makro baznih postaj in izgradnji usmerjevalnega drevesa s centraliziranim razvrščanjem. Nasprotno, distribuirani algoritmi so primernejši za izvajanje razvrščanja in krmiljenja dostopa znotraj vzpostavljenih zankastih struktur WiMAX, katerih ključne karakteristike so samonastavljivost, samoozdravljivost, avtonomnost delovanja in zagotovljena QoS. Rezultati so pokazali, da je področje distribuiranih algoritmov razmeroma slabo raziskano ter da so prispevki, ki bi celostno naslovili problem implementacije mehanizmov in algoritmov razvrščanja v zankastih sistemih WiMAX, redki. Ker je ta skupina aplikativnih področij z vidika potenciala zankastih sistemov neprimerno bolj zanimiva, je zasnova in načrtovanje distribuiranih mehanizmov in algoritmov za razvrščanje ter krmiljenje dostopa še toliko pomembnejše.

Zasnova razvrščevalnih algoritmov je podvržena konkretnim zahtevam ciljnega aplikativnega področja, saj odloča o zmogljivostih in zagotovljeni kakovosti storitev (QoS), ki bodo v širokopasovnem brezžičnem omrežju podprte. Zato smo podrobneje razdelali vidike zagotavljanja, merjenja in ocenjevanja QoS s stališča končnega uporabnika, pri čemer se je izkazalo, da smo pri načrtovanju krmiljenja dostopa v sistemih z zagotovljeno brezžičnostjo/mobilnost, kvaliteto storitve, robustnostjo in samoozdravljivostjo soočeni z nasprotujočimi si zahtevami. Uveljavljeni mehanizmi temeljijo na izboljšavah porazdeljevanja obremenitev in optimizaciji prostorske izrabe virov, zmanjševanju zakasnitev in interferenc ter s tem povečevanju prepustnosti omrežja, ter zagotavljanju pravičnosti dodeljevanja, vendar so konkretizirani za eno ali kvečjemu dve od navedenih zahtev, medtem ko celovitega pristopa k analizi in zasnovi v referenčni literaturi nismo našli. Na podlagi teoretičnih ugotovitev smo nato zasnovali splošno karakteristično primerjalno metriko za potrebe primerjalne evalvacije mehanizmov ter podali analitično ogrodje za primerjalno evalvacijo razvrščevalnih algoritmov. V nadaljevanju smo podrobneje preučili tipska aplikativna področja rabe zankastih omrežij WiMAX. Analiza je pokazala največji potencial na naslednjih dveh področjih:

- Komercialno mobilno podatkovno dostopovno omrežje: razširitev dostopovnega omrežja za končne uporabnike oziroma izgradnja infrastrukture za povezavo v internet; primerna je uporaba centraliziranega razvrščanja z izgradnjo optimiziranih drevesnih struktur;

- Namenski profesionalni sistem za krizno reševanje: izgradnja avtonomnega komunikacijskega sistema za vojaške in reševalne namene z uporabo distribuiranega razvrščanja; izgradnja komunikacije je neposredno med uporabniškimi vozlišči, za usmerjanje služijo MANET usmerjevalni protokoli.

Za identificirana aplikativna področja je kritičnega pomena podpora ustreznih storitev, ki imajo specifične performančne zahteve in pripadajoče karakteristike s stališča zagotavljanja kvalitete. Za vzpostavitev dostopovnih infrastruktur smo preučili možnosti uporabe usmerjanja z zavedanjem interferenc, usmerjanja z maksimizacijo prepustnosti in usmerjanja za izboljšanje prepustnosti z uporabo sočasnih oddaj. Primerjalna analiza je pokazala, da je najprimernejši algoritem prometnega uravnovešanja, sledi mu algoritem za razvrščanje z upoštevanjem motenj, nato algoritem z oddajnim drevesom. Najslabše rezultate izkazuje algoritem uteženega krožnega dodeljevanja. Za izgradnjo avtonomnih sistemov smo preučili proaktivne in reaktivne usmerjevalne pristope s pomočjo protokolov OLSR, AODV, OSPF, DSR in DSDV. Kot uveljavljen algoritem se kaže predvsem FEBA.

Skladno z definiranimi performančnimi in QoS parametri za potrebe podpore delovanju storitev za identificirana aplikativna področja smo nato zasnovali arhitekturno in funkcionalno ogrodje zankastega omrežja. V okviru podrobnejše definicije specifik zasnove, implementiranja in testiranja mehanizmov za razvrščanje in krmiljenje sodostopa smo ugotovili, da je prisoten enoten trend izgradnje tako profesionalnih kot komercialnih mobilnih sistemov na osnovi standardiziranih mobilnih protokolov, tehnologij in mehanizmov četrte generacije (4G), t.j. LTE/EPC, ki konceptualno sodijo v isto družino kot tehnologije WiMAX, pri čemer specializacija na določeno aplikacijsko domeno dopolni in nadgradi generično zasnovo standardiziranega sistema in definira ustrezne zahteve za delovanje mehanizmov razvrščanja in krmiljenja sodostopa. Na tej osnovi smo delo na temeljnih raziskavah nadaljevali prvenstveno na mehanizmih za sodostop in razvrščanje v okviru komercialnih 4G mobilnih omrežij, saj je podrobna preučitev znanstvenih izsledkov ter razvojnih in aplikativnih planov pokazala, da gre ne glede na vrsto tehnologije, t.j. LTE ali WiMAX, za iste konceptualne razmisleke in ponekod celo univerzalne mehanizme, ki so aplikabilni na okolja, grajena s katerokoli od konkurenčnih tehnologij.

Pozornost smo posvetili arhitekturni in funkcionalni zasnovi krmiljenja dostopa za primer komercialnega podatkovnega 4G mobilnega omrežja in predlagali nadgrajeno shemo. Raziskave smo prvenstveno usmerili v radijski del omrežja, kjer je kompleksnost tovrstnih mehanizmov največja zaradi zahtevnih karakteristik radijskega kanala in tipično prisotnih efektov ozkega grla za celoten sistem. Ugotovitve so pokazale, da je cilj delovanja razvrščanja in krmiljenja dostopa zagotavljanje ustrezne pasovne širine in kvalitete, kar danes rešujemo s pomočjo intenzivnejše celične granulacije, ki pa posledično prinese bistveno povečanje kompleksnosti v postopku načrtovanja omrežja in zasnovi obravnavanih mehanizmov. V ta namen je potrebna implementacija standardiziranih prekrivnih rešitev z uporabo principov krmiljenja dostopa (angl. Admission Control – AC) v samoorganizacijskih omrežjih (angl. Self-Organized Networks – SON AC), ki dinamično na sistemskem nivoju izvajajo krmiljenje performanc, kvalitete in drugih delovnih parametrov s pomočjo procedur za konfiguracijo standardiziranih nižjenivojskih mehanizmov, kamor sodijo tudi tehnike AC in naprednega razvrščanja, implementirane v obliki specializiranih funkcij znotraj omrežnih elementov (usmerjevalne funkcije, čakalne vrste, izločevalnik interferenc ipd.). Na tej osnovi smo problem zasnove tehnik AC/razvrščanja prevedli na problem izvedbene logike in konfiguracijske uveljavitve delovanja prekrivne rešitve SON/AC, kar smo podali v obliki arhitekturnih specifikacij, potrebnih podprtih standardiziranih funkcionalnosti ter proceduralnih shem za konfiguracijo AC/razvrščevalnih algoritmov v omrežnih elementih.

V nadaljevanju smo vzpostavili simulacijsko ogrodje. Podali smo funkcionalno simulacijsko zasnovo, ki predvideva uporabo tipskih AC/razvrščevalnih algoritmov (npr. Proportional Fair Scheduler – PFS). Podrobno smo definirali procedure uveljavitve PCC/SON (angl. Policy and Charging Control Function) instrukcij v omrežnih vozliščih, ki določijo konfiguracijo za maksimizacijo prenosnih kapacitet in celičnega pokrivanja danega geografskega območja. Simulacije smo pripravili za opazovanje relativne kumulativne prepustnosti z metriko CINR, nosilne frekvence glede na najvišje vrednosti relativne kumulativne podatkovne prepustnosti v okolici zanimanja, pokritosti, največje (kvadratne) podatkovne prepustnosti na enoto geografske površine; metrika z ustreznim mapiranjem predstavlja vhodne parametre za AC/razvrščevalni algoritem. V simulacijah smo testirali več modelov izračunavanja propagacije radijskega signala v prostem področju, kot npr. eksponencialno pojemajoč model in Okumura-Hata model, za pohitritev delovanja PCC/SON logike pa uporabili pravilo belih lis v rekurzivnem izračunavanju brez in s korelacijami. Izvedli smo nize simulacij, in sicer za konzervativno povečevanje celičnega pokrivanja (zmanjševanje belih lis) in optimizacijo podatkovne prepustnosti območja z različnimi stopnjami. Simulacijske rezultate smo za potrebe podrobnejše analize prikazali z naprednimi vizualizacijskimi oblikami, predvsem področnimi toplotnimi mapami in večslojnimi geografskimi propagacijskimi zemljevidi. Rezultati kažejo, da pri metriki največje kvadratne podatkovne prepustnosti zadovoljivo prepustnost omogočijo že 3

pravilno izbrane frekvence, zato se ta metoda kaže kot obetavni kompromis med hitrostjo, ceno in doseženo optimizacijsko stopnjo.

S tem smo program dela raziskovalnega projekta v celoti in uspešno realizirali. Tekom projekta smo izvajali aktivnosti za prenos opisanih znanstvenih rezultatov in ugotovitev v strokovno javnost in na področje aplikativnega sodelovanja z industrijskimi partnerji. Izsledke smo objavili v seriji relevantnih publikacij, kamor sodi tudi serija treh objav v reviji IEEE Communications Magazine s tematiko kvalitete storitev in kvalitete uporabniške izkušnje. Del članov raziskovalne skupine je učinke preneslo na področje podiplomskega študija do priprave magistrske naloge (1) oziroma doktorata znanosti (2). V okviru aplikativnega povezovanja z industrijo so rezultati in učinki projekta prispevali k pridobitvi in uspešni realizaciji tematsko sorodnih razvojno-raziskovalnih projektov, ki so rezultirali v treh patentnih prijavih in dveh podeljenih patentih pri United States Patent and Trademark Office. S tem smo dosegli učinkovit prenos znanja in rezultatov, ki segajo do konkretnih industrijskih produktov in storitev na področju mobilnih rešitev četrte generacije, ter krepitev sodelovanja med raziskovalnimi inštitucijami in industrijo.

5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Glede na vsebinski opis in program dela, podan v prijavi vlogi raziskovalnega projekta, ter zastavljene cilje in predvidene rezultate, ugotavljamo, da je bila realizacija predloženega plana dela in s tem projekta kot celote uspešna. Rezultati in ugotovitve raziskovalnega projekta potrjujejo znanstvene predpostavke, predstavljene v prijavi vlogi. Poleg teoretičnih dognanj in učinkov segajo rezultati na področje aplikativne rabe obravnavanih tehnologij ter predstavljajo doprinos z uporabno vrednostjo v industriji, obenem pa znanstveni prispevek na obravnavanem raziskovalnem področju. Ključni izsledki so naslednji.

1. Napredni mehanizmi za razvrščanje in krmiljenje dostopa predstavljajo velik potencial pri načrtovanju in vzpostavljanju komercialnih in profesionalnih širokopasovnih brezžičnih/mobilnih omrežij in storitev četrte generacije generacije.
2. Na osnovi standardiziranih tehnologij in postopkov zagotavljanja krmiljenja dostopa in razvrščanja v 4G mobilnih omrežjih je možno problem zasnov, implementacije in konfiguracije za optimalno delovanje teh preslikati na arhitekturno in funkcionalno zasnovo ter algoritme prekrivnega sistema, ki s pomočjo principov SON in AC zagotovijo dinamično konfiguracijo razpoložljivih omrežnih mehanizmov. Na ta način problem izbora in konfiguracije omrežnih AC/razvrščevalnih mehanizmov prevedemo na aplikacijsko logiko krmiljenja sistemskega delovanja z vidika porabe virov in zagotovljene kvalitete storitev.
3. Diverzifikacija implementacije in delovanja AC/razvrščevalnih mehanizmov je pogojena z opredelitvijo storitvenih zahtev ciljnega aplikativnega področja ter njihovo vrednotenje v okviru algoritmov dinamičnega krmiljenja dostopa in samoorganizacije. Profiliranje storitev pokaže, da 4G mobilno omrežje omogoča ustrezen nabor generičnih zmogljivosti in mehanizmov, konfiguracija katerih določa razpoložljivost, zanesljivost in kakovost vsake od zagotovljenih storitev skladno z zahtevami komercialne in profesionalne rabe.
4. Za zagotovitev sistemske prekrivne rešitve za dinamično krmiljenje dostopa in samoorganizacijo 4G omrežja je potrebno arhitekturno in funkcionalno zasnovo načrtovati distribuirano z implementacijo ustreznih funkcionalnosti v vse segmente omrežja, preko katerih storitev zagotavljamo. Distribuirano načrtovanje in delovanje rešitve SON/AC v mobilni infrastrukturi povečuje kompleksnost odločitvenih algoritmov, vendar doprinaša znatne optimizacijske dobitke na račun dinamičnega uveljavljanja skladno s trenutnimi zahtevami storitve, potrebami aplikacijske domene in razpoložljivimi viri omrežja. Kompleksnost se odraža tudi v zahtevnosti priprave simulacijskega ogrodja.

V okviru izvedbe raziskovalnega dela smo s pridobljenimi rezultati in ugotovitvami uspešno potrdili hipoteze, identificirane v okviru programa raziskav. S tem ocenjujemo stopnjo realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev projekta kot uspešno in v celoti skladno s predvidenimi vsebinskimi in časovnimi okviri programa.

6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁵

V času izvajanja projekta ni bilo večjih sprememb ali odstopanj glede na predviden program dela. Tekom izvajanja Faze 4 in faze 5 so dognanja teoretičnih in aplikativnih raziskav pokazala, da je smiselno problem načrtovanja mehanizmov za krmiljenje dostopa v zankastih omrežjih WiMAX posplošiti na sodobna širokopasovna podatkovna mobilna omrežja, kjer je

danesh uveljavljen enoten trend izgradnje tako profesionalnih kot komercialnih rešitev na osnovi standardiziranih mobilnih protokolov, tehnologij in mehanizmov četrte generacije (4G), t.j. LTE/EPC, ki konceptualno sodijo v isto družino kot tehnologije WiMAX. Zato smo delo na temeljnih raziskavah nadaljevali prvenstveno na mehanizmih za sodostop in razvrščanje v okviru komercialnih 4G mobilnih omrežij, saj podrobna preučitev znanstvenih izsledkov ter razvojnih in aplikativnih planov pokaže, da gre ne glede na vrsto tehnologije, t.j. LTE ali WiMAX, za iste konceptualne razmisleke in ponekod celo univerzalne mehanizme, ki so aplikabilni na okolja, grajena s katerokoli od konkurenčnih tehnologij.

V času izvajanja projekta ni prišlo do večjih sprememb v sestavi projektne skupine z izjemo manjših tekočih kadrovskih zamenjav, ki pa niso vplivale na kompetence in reference osnovne projektne skupine ter na dinamiko in kakovost izvajanja projekta.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	9280596	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Učinkovita ocena kanalskega dobitka v celičnih brezžičnih omrežjih
		ANG	Effective channel gain estimation in cellular wireless networks
	Opis	SLO	Interference v celičnih brezžičnih omrežjih med celicami in naročniškimi postajami imajo neposreden vpliv na razpoložljive prenosne kapacitete in predstavljajo glavne omejitve kapacitet, še posebej v omrežjih s popolno uporabo frekvenc med celicami. Vedno več pozornosti je usmerjene v njihovo minimizacijo. Članek predstavi novo metodo koordinirane aproksimacije izgub na poti, ki dinamično oceni izgube na poti, znane tudi kot kanalski dobitki na poti med naročniško postajo in celicami na OFDMA omrežju točka - več točk. Metoda je uporabna za pametno medcelično sinhronizacijo kjer te delujejo v kooperativnem načinu z namenom zmanjševanja interferenc.
		ANG	Interferences in cellular wireless networks between the cells and subscriber stations have direct impact on available throughput capacities and pose main capacity limitations, especially in networks with full frequency reuse among all cells. More and more attention is focused on its minimization. The article introduces a new Coordinated Path Loss Approximation (CPLA) method, which dynamically estimates the path loss (PL) often also referred to as channel gain between each SS and cells on backhaul point-to-multipoint OFDMA based CWN. The method is usable for smart inter-cell synchronization where cells run in cooperative mode in order to avoid interferences.
	Objavljeno v	Department of Telecommunications, Brno University of Technology; Proceedings; 2012; Str. 127-131; Avtorji / Authors: Mulej Aleš, Kos Andrej, Humar Iztok	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
2.	COBISS ID	7937108	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Centralizirani razvrščevalni algoritmi za zankasta omrežja WiMAX
		ANG	Centralized scheduling algorithms for WiMAX mesh networks
	Opis	SLO	Prispevek predstavlja osnovne tehnike in principe delovanja ter mehanizme zankastega WiMAX omrežja, grajenega s tehnologijami IEEE 802.16. Podani so osnovni principi zgradbe in delovanja zankastega WiMAX omrežja. Predstavljena je primerjalna analiza izbranih centraliziranih in porazdeljenih razvrščevalnih algoritmov, na podlagi te pa so podane smernice in priporočila za izbor ustreznih razvrščevalnih algoritmov za nabor tipičnih performančnih kriterijev.
		ANG	The article presents basic WiMAX mesh mode operation and some of key mechanisms for WiMAX mesh networks based on IEEE 802.16 technologies. Basics of WiMAX mesh network design and operation are given. A

		comparative analysis is presented for selected centralized and distributed scheduling algorithms and guidelines for algorithm selection for WiMAX mesh network design is given for a range of typical performance criteria.
	Objavljeno v	IEEE Region 8, Slovenska sekcija IEEE; Zbornik devetnajste mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference ERK 2010, Portorož, Slovenija, 20.-22. september 2010; Zbornik ... Elektrotehniške in računalniške konference ERK ...; 2010; Zv. A; str. 161-164; Avtorji / Authors: Bajželj Uroš, Volk Mojca, Sterle Janez, Kos Andrej
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
3.	COBISS ID	8571220 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Metode lociranja za bodoče lokacijske storitve
		<i>ANG</i> Localization methods for future location services
	Opis	<i>SLO</i> V tem prispevku podajamo pregled obstoječih in prihajajočih metod lociranja v mobilnem okolju. Z rastjo mobilnih tehnologij in povečano uporabo ter razširitvijo mobilnih terminalov, mobilne storitve in aplikacije, med njimi tudi tako imenovane lokacijske storitve, pridobivajo čedalje več pozornosti. Kontekst uporabe je pomemben element za personalizacijo bodočih sistemov za pridobivanje informacij, aplikacij in storitev. Na kratko predstavimo našo shemo, ki bi lahko bila uporabljena kot sistem za pridobivanje uporabniškega profila in konteksta. Pomemben faktor določitve uporabniškega konteksta je natančno lociranje uporabnika v okolju, kar lahko izvedemo z različnimi metodami. To je bila naša motivacija za pripravo pregleda obstoječih in prihajajočih možnosti. Predstavili smo trenutno stanje metod za lociranje in osnovne principe, ki jih uporabljajo. Praktične primerjave med različnimi metodami pa so težko izvedljive. Zdi se, da ne obstaja ena sama rešitev, ki bo dobro delovala tako v zunanjih kot tudi v notranjih okoljih. Lokacija je v notranjih okoljih namreč zaradi same narave okolja težje določljiva in hkrati je potrebna večja natančnost. Tako bo za natančno lociranje za bodoče storitve in aplikacije potrebna kombinacija različnih metod.
		<i>ANG</i> In this paper we give an overview of the existing and upcoming positioning methods in the mobile environment. With the advent of mobile technologies, increased usage and expansion of mobile devices, mobile services and applications, among them also the so called location-based services, are gaining an increased amount of attention. The user context is an important element of personalization of future information retrieval systems, applications and services. We briefly present our scheme that could be deployed to obtain the user profile and context. An important factor for determination of the latter is an accurate positioning of a user in the environment which can be done by using different methods. Therefore, we have prepared a survey of the existing and upcoming possibilities. We present the state-of-the-art positioning methods and general ideas behind them, however comparisons among them are hard to make. It seems a method that will work well both in the indoor and in the outdoor environments does not exist. Positioning in the indoor areas is due to the nature of the environment namely harder to obtain and the needed precision is higher. Therefore, a combination of methods will be needed for accurate positioning for the future services and applications.
	Objavljeno v	Elektrotehniška zveza Slovenije; Elektrotehniški vestnik; 2011; Letn. 78, št. 1/2; str. 24-30; Avtorji / Authors: Vidmar Luka, Štular Mitja, Pogačnik Matevž
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	7729748 Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<i>SLO</i> Zankasta omrežja WiMAX
		<i>ANG</i> WiMAX mesh networks

	Opis	SLO	Magistrsko delo obravnava tehnike, postopke in mehanizme za vzpostavitev zankastih omrežij WiMAX. Podaja obsežne analize tehnik centraliziranega in porazdeljenega razvrščanja v sodobnih brezžičnih omrežjih, grajenih s tehnologijami WiMAX in tehnikami za vzpostavitev zankastega omrežja. Podrobneje se osredotoča na tehnike razvrčevalnih algoritmov, na podlagi primerjalne analize zmogljivosti uveljavljenih in eksperimentalnih pristopov podaja predlog za zasnovo zankastega omrežja in izbor najustrežnejših algoritmov za različne primere scenarijev in pripadajočih performančnih kriterijev.	
		ANG	The thesis addresses techniques, procedures and mechanisms for establishment of mesh WiMAX networks. Comprehensive analyses are given of centralized and distributed scheduling techniques for modern wireless networks based on WiMAX technologies and mesh networks principles. The core of the thesis is focused on scheduling algorithms. A detailed comparative performance analysis of established and experimental approaches is given, followed by a WiMAX mesh network design proposal and appropriate algorithm selection for various use-case scenarios and the belonging performance criteria.	
	Objavljeno v	BAJŽELJ, Uroš. Zankasta omrežja WiMAX = [WiMAX mesh networks] : magistrsko delo. Ljubljana: [U. Bajželj], 2010. XVI, 112 str., ilustr.		
	Tipologija	2.01 Znanstvena monografija		
5.	COBISS ID	8567892	Vir: COBISS.SI	
	Naslov	SLO	LTE potencial za izgradnjo mobilnih omrežij na ruralu v Sloveniji	
		ANG	LTE potential for rural deployments in Slovenia	
	Opis	SLO	V zadnjih letih smo priča eksploziji v svetu prometa mobilnih podatkov, kjer je gonilna sila prav močan napredek v uporabniški izkušnji in pavšalnih paketih podatkovnih storitev. Čeprav je to povečalo podatkovne prihodke operaterjev, je tudi privedlo do ločitve med uporabo in prihodki. Uporaba se povečuje, stroški zdaj naraščajo hitreje od prihodkov, kar vodi do nižjih marž. Ta sprememba pri upravljanju omrežne ekonomike pomeni, da je nadzor nad stroški postala glavna strateška usmeritev mnogih operaterjev. To vprašanje postane še bolj pomembno, ko je uvedba LTE omrežja v teku. Mobilni operaterji trenutno nadgrajujejo obstoječo infrastrukturo, da bi izpolnjevali zahteve prometa in zagotovili visoko kakovost izkušnje za vse mobilne širokopasovne uporabnike, ampak v trenutnih gospodarskih razmerah je to zahtevno in drago. Je LTE nuja operatorskih naložbenih načrtov že v letošnjem letu? Kaj je glavni dejavnik za uvajanje LTE na 800 MHz - izboljšana zmogljivost ali boljši prenos signala - in kako se ta vprašanja upoštevajo pri zmanjševanju digitalne ločnice na podeželju, kjer je načrtovana LTE tehnologija?	
		ANG	In the recent years we have seen an explosion in the mobile data traffic driven by significant improvements in the user experience and the flat-rate data plans. Although this has increased operators' data revenue, it has also led to the decoupling of usage and revenue. As the usage increases, costs can now rise faster than revenues, leading to lower margins. This shift in the network economics management means that cost control has now become the primary strategic focus of many operators. This issue becomes even more important when deployment of the LTE network is on its way. Mobile operators are currently upgrading their existing infrastructure to meet the traffic demands and to ensure a high quality of experience for all mobile broadband users but under current economic conditions this is challenging and costly. Is LTE a must for operator's investments plans already this year? What is a driving factor for LTE deployments on 800 MHz – improved capacity or better signal propagation – and how are these issues considered when LTE is a planned technology for the digital divide bridging in the rural areas?	

Objavljeno v	VDE; CTTE 2011; 2011; Str. 1-5; Avtorji / Authors: Vidmar Luka, Peternel Blaž, Štular Mitja, Pogačnik Matevž
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁷

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	9627732	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Metoda za izbor frekvence 4G vozlišča
		ANG	Method for 4G node frequency selection
	Opis	SLO	Metoda za izbor frekvence 4G vozlišča opisuje mehanizem za samodejno izbiro frekvence novo nameščene bazne postaje, pri čemer optimizira pretok na enoto površine novo nameščene bazne postaje v vnaprej določenem območju. Metoda temelji na iterativnem pristopu za izračun, ki združuje omrežja v "realnem svetu" in meritve baznih postaj z nominalnimi specifikacijami novo nameščenih baznih postaj (diagram antene, izhodna moč) in lokacije ter smeri le-teh.
		ANG	A method for 4G node frequency selection describes a mechanism for automatically selecting the frequency of a newly installed base station, thereby optimizing the throughput per area unit of the newly installed base station in its predefined vicinity area. The method is based on an iterative calculation approach, which combines real-world network and base station measurements information with the nominal specifications of the newly installed base station (antenna diagram, output power) and the location and direction thereof.
	Šifra	F.32	Mednarodni patent
	Objavljeno v	United States Patent and Trademark Office; 2012; A": 1; A': 1; Avtorji / Authors: Likar Bojan, Posel Robert, Kalagasidis Andreas, Bešter Janez, Kos Andrej, Volk Mojca, Sedlar Urban, Mali Luka, Sterle Janez	
	Tipologija	2.24	Patent
2.	COBISS ID	9172052	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Metoda za izbor kognitivne 4G okolice
		ANG	Method for cognitive 4G neighborhood selection
	Opis	SLO	Metoda za izbor kognitivne okolice v 4G omrežjih opisuje mehanizem za samodejni, samostojni izbor sosednjih baznih postaj v namen zagotavljanja nemotenega izločanja v gosto razporejenih piko in makro baznih postajah. Ko je 4G omrežje spremenjeno z dodajanjem novih baznih postaj, se optimalni izločevalni pragovi in okolica baznih postaj ponovno samodejno izračunajo na način, ki zmanjšuje število nepotrebnih izločitev v gostem omrežju z velikim številom piko in makro baznih postaj.
		ANG	A method for cognitive neighbor selection in 4G networks describes a mechanism for automatic self-learning selection of neighboring base stations for the purpose of providing seamless handoffs in a dense deployment of pico and macro base stations. When a 4G network is modified by adding new base stations, the optimum handoff thresholds and advertised base station neighbors are automatically recalculated in a manner that reduces the number of unnecessary handoffs in a dense network with large number of pico and macro base stations.
	Šifra	F.32	Mednarodni patent
	Objavljeno v	United States Patent and Trademark Office; 2012; 8 str.; A": 1; A': 1; Avtorji / Authors: Likar Bojan, Posel Robert, Kalagasidis Andreas, Bešter	

		Janez, Kos Andrej, Volk Mojca, Sedlar Urban, Mali Luka, Sterle Janez	
	Tipologija	2.24 Patent	
3.	COBISS ID	8297556	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Telekomunikacije zelo vplivajo na druge panoge
		ANG	Telecommunications greatly affect other sectors
	Opis	SLO	V intervjuju prof. dr. Andrej Kos iz Laboratorija za telekomunikacije Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani razlaga, da ima Slovenija dobro razvito infrastrukturo za dostop do širokopasovnih omrežij, vendar pa bo potrebnih še veliko vlaganj, da bodo lahko do njih dostopala vsa slovenska gospodinjstva.
		ANG	In an interview Andrej Kos, Ph. D., from the Laboratory for Telecommunications, Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana explains that Slovenia has a well-developed infrastructure for broadband access networks, but still needs a lot of investment to enable access to all Slovenian households.
	Šifra	F.30 Strokovna ocena stanja	
	Objavljeno v	Gospodarski vestnik; Finance; 2011; Št. 69; str. 24-25; Avtorji / Authors: Kos Andrej	
	Tipologija	1.22 Intervju	
4.	COBISS ID	8423252	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Optimizacija načrtovanja žičnih in brezžičnih širokopasovnih dostopovnih omrežij
		ANG	Wireline and wireless broadband access network planning optimization
	Opis	SLO	Doktorska disertacija je bila usmerjena v študije širokopasovnih dostopovnih omrežij, tehnologij in storitev, s ciljem optimizacije njihovega načrtovanja. Motiv za raziskave izhaja iz poznavanja težav operaterjev pri načrtovanju nadgradnje obstoječih dostopovnih omrežij v zmogljivejša širokopasovna omrežja s kombinacijo različnih tehnologij in s tem povezanim izborom najbolj primerne topologije dostopovnega omrežja. Predlagan je matematični model širokopasovnega dostopovnega omrežja s potekom in ključnimi koraki hevrističnega iskanja rešitve v zalogi vrednosti stroškovne funkcije, ki opisuje optimizacijski problem. Predstavljeno je tudi orodje za načrtovaje kombinacije dostopovnih omrežij, ki je bilo razvito na podlagi znanstveno-raziskovalnega dela v sklopu disertacije (BANeT – Broadband Access Network planning Tool).
		ANG	The doctoral thesis was focused on studies of broadband access networks, technologies and services with the objective to optimize their planning. The motivation is based on good understanding of challenges and issues that the operators are facing when upgrades of existent access networks are planned to provide broadband capabilities using a combination of technologies. A mathematical model of a broadband access network is presented along with descriptions of key steps in heuristic problem solving using cost function that describes the optimization problem. BANeT – a Broadband Access Network planning Tool is also presented that allows for heterogeneous access network planning and was developed based on results and findings of the doctoral work.
	Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom	
	Objavljeno v	[B. Peternel]; 2011; XXIII, 102, [29] str.; Avtorji / Authors: Peternel Blaž	
	Tipologija	2.08 Doktorska disertacija	
5.	COBISS ID	9539412	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	(OTT) meritve kakovosti širokopasovnih omrežij

	ANG	(OTT) broadband quality measurements
Opis	SLO	Pomembna vzvoda rasti gospodarstva sta razširjenost in zmogljivost nacionalne internetne infrastrukture. Raziskave so pokazale, da desetodstotna rast na področju širokopasovnega internetnega dostopa pomeni enoodstotni porast bruto družbenega proizvoda države. Zmogljiva fiksna in mobilna širokopasovna omrežja so tako ključnega pomena za kontinuiran razvoj podjetij in države. V prispevku je analizirana širša tematika razvoja širokopasovnih omrežij ter načini meritev kakovosti letih. Predstavljen je merilni sistem LTFE QoE, ki je zasnovan za potrebe obsežnih meritev kakovosti uporabniške izkušnje v realnem času, njihovo shranjevanje in analizo. Rešitev je primerna za meritve QoE storitev fiksne in mobilne interneta ter obsega širok nabor merjenih parametrov QoE, ki omogočajo vpogled v razpoložljivost, odzivnost in hitrost mobilnega internetnega dostopa.
	ANG	Broadband infrastructure is an important growth driver of the economy. Research has shown that 10% growth in broadband Internet access means 1 % increase in gross domestic product of a country. Fixed and mobile broadband networks are vital for the continuing development of companies and countries. In this presentation we analyze the broader topic of broadband networks and methods of their quality measurement. LTFE QoE measurement system is presented, which is designed for the needs of large-scale measurement of the quality of the user experience. The solution is suitable for measuring QoE of fixed and mobile Internet, covering a wide range of parameters and providing insight into the availability, responsiveness and speed of the fixed or mobile Internet access.
Šifra	B.04	Vabljen predavatelj
Objavljeno v	[s. n.]; Telekomunikacije; 2012; Str. 1-20; Avtorji / Authors: Kos Andrej, Sterle Janez	
Tipologija	1.10	Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljen predavatelj)

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

Mednarodne patentne prijave

Poleg navedenih patentov je projektna skupina v sodelovanju z industrijskimi partnerji ter v povezavi s temeljnimi in aplikativnimi projekti s področja naprednih mehanizmov za omrežja nove generacije uspešno vložila tri mednarodne patentne prijave.

- Iterative localization techniques : patentna prijava 12/825.048. [S. I.]: US Patent Office, 28. jun. 2010.

- A method for congestion avoidance in 4G networks : appl. assignement 501290992A, 2010-09-16. Alexandria: United States Patent and Trademark Office, 2010.

- A method for self organizing network operation : patentna prijava 12/827,965. [S. I.]: US Patent Office, 30. jun. 2010.

Aplikativni in industrijski projekti

Raziskovalna skupina je v času trajanja projekta intenzivno sodelovala na raziskovalno-razvojnih in aplikativnih projektih, v okviru katerih je pridobljena znanja diseminirala in posredovala v prakso v sodelovanju s slovensko industrijo. Ključna projekta, neposredno vezana na tematiko zankastih omrežij in tehnologij WiMAX, sta:

- »ARQ RADIO MODEM« v okviru tehnološkega programa »Tehnologija za varnost in mir«.

Tematika projekta je raziskava, zasnova, načrtovanje in razvoj radijskega modema ARQ.

- »Pico bazna postaja 4. generacije« v okviru OPERATIVNEGA PROGRAMA KREPITVE REGIONALNIH RAZVOJNIH POTENCIALOV ZA OBDOBJE 2007 – 2013. Tematika projekta je raziskava, načrtovanje, zasnova in implementacija ter testiranje WiMAX pico bazne postaje četrte generacije.

Pedagoško delo

Vodja projekta, dr. Andrej Kos, znanja in ugotovitve prenašal v pedagoško prakso ter deloval

kot mentor dodiplomskim in podiplomskim študentom, katerih delo je bilo tematsko povezano s tem projektom. Raziskovalna skupina je na podlagi rezultatov in pridobljenih znanj vključila nove izobraževalne vsebine s področja brezžičnih/mobilnih omrežij 4. generacije v študijske programe, ki se izvajajo v okviru Fakultete za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, in v ponudbo strokovnih izobraževanj in delavnic za naročnike.

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Širokopasovna brezžična in mobilna omrežja s podprtimi podatkovnimi storitvi in zagotovljeno kakovostjo, ki omogočajo vzpostavljanje temeljne infrastrukture s samonastavljivimi, samoorganizacijskimi in samoozdravljivimi karakteristikami, predstavljajo pomembno raziskovalno vejo telekomunikacij. Njihov potencial je prisoten zlasti na dveh aplikativnih področjih, t.j. komercialne dostopovne brezžične/mobilne infrastrukture za povečanje pokritosti in kapacitet na strani končnih uporabnikov, in namenski avtonomni komunikacijski sistemi za vojaške komunikacije v mirnodobnih in bojnih misijah ter brezžični komunikacijski sistemi za potrebe zaščite in reševanja v kriznih situacijah.

Raziskovalni rezultati, ugotovitve in pridobljena znanja tega projekta so osredotočeni na tehnologije in algoritme za izgradnjo širokopasovnih omrežij četrte generacije (4G) z uporabo naprednih mehanizmov za krmiljenje dostopa, ki omogočajo zagotavljanje storitev z dobro definiranimi performančnimi in QoS karakteristikami. Dodana vrednost raziskav je predvsem:

1. na področju mehanizmov in algoritmov nove generacije za krmiljenje dostopa v širokopasovnih mobilnih sistemih četrte generacije z uporabo prekrivnih tehnik SON;
2. na področju prenosa znanj v prakso in na področja aplikativnih in industrijskih raziskav z namenom zasnove in implementacije komercialnih in profesionalnih širokopasovnih mobilnih sistemov nove generacije s samoozdravljivimi in samonastavljivimi karakteristikami ter zagotovljeno kakovostjo storitev.

Projektne rezultati nosijo pomemben raziskovalni prispevek k pospeševanju aplikativnih znanstveno-raziskovalnih aktivnosti s poudarkom na zasnovi in optimizaciji delovanja distribuiranih zankastih omrežij 4. generacije skladno s performančnimi in QoS karakteristikami storitev potencialnih aplikativnih področij. Identifikacija in analiza apliciranja tovrstnih komunikacijskih infrastruktur tvori temelj za nadaljnje raziskave, razvoj, zasnovo in implementacijo komunikacijskih rešitev s praktično uporabno vrednostjo bodisi v komercialne, varnostne, strateške ali v družbeno-koristne namene. Poglobljene študije razvrščevalnih tehnik in usmerjanja v nekoordiniranih in koordiniranih distribuiranih zankastih omrežjih ter vzpostavljen evaluacijski model odražajo detajlno analizo karakteristik razpoložljivih razvrščevalnih algoritmov in predstavlja zasnovo za izvedbo nadaljnjih raziskav in načrtovanje optimizacijskih postopkov ter razvoj novih algoritemskih tehnik. Obenem služijo kot referenčno ogrodje za komparativno načrtovanje in simulacije zankastega omrežja z vidika storitvenih karakteristik ter za razvoj novejših algoritmov za razvrščanje in krmiljenje dostopa v omrežjih četrte generacije. Arhitekturna in funkcionalna zasnova sistema s podprto novo generacijo mehanizmov za krmiljenje dostopa predstavlja teoretične temelje za aplikativno načrtovanje in implementacijo tovrstnih sistemov, medtem ko rezultati simulacij s pripadajočimi analizami in vizualizacijami podajajo konkretne študije praktično aplikabilnih metod in njihovih učinkov v realnih sistemih.

Vsa navedena področja predstavljajo strateško pomembne raziskovalne in razvojne tematike v telekomunikacijah, v okviru katerih je prispevek v obliki novih temeljnih znanj ter aplikativno-industrijskih smernic nujno potreben za dozorevanje področja do te mere, da je možna vzpostavitev konkretnih komercialnih in profesionalnih rešitev. Povratno, uspešno pospeševanje in izvajanje aplikativnih in industrijsko podprtih raziskav in razvoja povečuje zanimanja in vlaganja v obravnavano temeljno znanstveno področje, s čimer je omogočen celovit in kakovosten razvoj področja kot celote ter generiranje dodane vrednosti, ki se odraža tako v znanstveni odličnosti kot v uspešni industrijski in poslovni praksi.

ANG

Broadband wireless and mobile networks with support for data services and assured quality that are applicable to areas where self-configuration and self-organization are required represent an

important research direction in telecommunications. Their potential is specifically evident in two application domains, that is, commercial wireless and mobile access infrastructures for capacity and coverage expansion towards end-users, and dedicated autonomous communication systems for military communications in strategic and tactical missions and wireless emergency response communication systems.

Research results, outcomes and acquired expertise of this project are focused on technologies and algorithms for design and implementation of such broadband networks of the fourth generation (4G), using advanced admission control mechanisms that allow for efficient service provisioning with well-defined performance and QoS characteristics. The added value of the completed scientific research work is:

1. in the field of new generation of admission control mechanisms and algorithms applicable to 4G broadband mobile systems using overlay SON techniques;
2. in efficient transfer of knowledge and best practice into applicative and industrial research aiming at design and implementation of commercial and professional broadband mobile systems with self-organizing and self-healing characteristics and assured quality of service.

The research outcomes represent significant contributions in terms of accelerating scientific and applied research activities with an emphasis on design and optimization of distributed mesh networks of the fourth generation in conformance with performance and QoS characteristics of the targeted services of the potential application domains. The completed identification and analysis of applicability of such communication infrastructures provides solid grounds for further research, development, implementation and optimization of communication solutions with applicative value and usefulness, either for commercial, security and strategic or community means. Detailed studies of scheduling techniques and routing in uncoordinated and coordinated distributed mesh networks as well as evaluation model design reflect the outcomes of detailed analyses of available scheduling algorithms and represent a basis for further work on optimization procedures and development of new algorithm techniques. Their value is also as a reference framework for comparative planning and simulations of mesh networks with the focus on service characteristics, as well as development of new scheduling and admission control mechanisms in 4G networks. Architectural and functional design of the system with supported next generation of admission control mechanisms represents a theoretical framework for applicative design and implementation of such solutions, while simulation results along with the respective analyses and visualizations provide concrete studies of practically applicable methods and their effects in realistic environments.

All addressed research areas are of strategic importance in terms of research and development in telecommunications, where contributions in the form of basic scientific outcomes and applicative industrial guidelines are vital in order to further evolve the domain to a stage allowing for real-world commercial and professional implementations. On the other hand, successful fuelling and execution of applicative and industrial research and development increases interest and investments into the addressed basic research area, which allows for comprehensive high-quality advancements of the area and generation of added value that is reflected in both scientific excellence and successful industrial and business practice.

10.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Telekomunikacijski sektor predstavlja za Slovenijo enega izmed strateških področij, kjer se nam obeta velik potencial za doseganje znanstveno, strokovno, tehnološko, industrijsko in poslovno vrhunskih rezultatov. Zato je glede na trenutno gospodarsko situacijo v Sloveniji krepitev telekomunikacij nujna, za uspeh pa je kritičnega pomena ustvarjanje in krepitev močnega temeljnega in aplikativnega znanja preko ustrezno usmerjenih razvojno-raziskovalnih aktivnosti.

Raziskave, načrtovanje, razvoj in implementacija novih tehnik in tehnologij krmiljenja dostopa, s tem pa zagotavljanja karakteristik samoozdravljivosti, samonastavljivosti in zagotovljene kakovosti storitev, predstavljajo elementarne prispevke v razvoju nove generacije komunikacijskih tehnologij, ki odpirajo pot za načrtovanje in izgradnjo širokopasovnih brezžičnih in mobilnih komunikacijskih sistemov četrte generacije. Slednji predstavljajo temeljno komunikacijsko infrastrukturo prihodnosti domala vseh gospodarskih in družbenih sektorjev, glede na karakteristike pa so opisane rešitve poleg komercialnega sektorja še posebej zanimive za področje profesionalnih namenskih sistemov. Razvoj obravnavanega področja je tako strateškega pomena z vidika razpoložljivosti naprednih komunikacijskih

tehnologij za pospeševanje penetracije širokopasovne povezljivosti, vzpostavljanja komercialno zanimivih mobilnih in brezžičnih komunikacijskih sistemov, gradnje taktične vojaške infrastrukture in sistemov za krizno reševanje, in nenazadnje vzpostavitev varne komunikacijsko podprte digitalne družbe kot celote, kot je to zapisano tudi v strateških dokumentih Slovenije in Evropske Unije.

Učinki projekta so neposredno prispevali k gradnji in krepitvi znanstvenega, raziskovalnega in razvojnega potenciala slovenske raziskovalne in akademske sfere ter njene mednarodne prepoznavnosti. Diseminacija znanja v obliki publikacij v relevantnih medijih, udeležba strokovnjakov na priznanih konferencah in seminarjih, ter prenos znanj in izkušenj v dodiplomske in podiplomske študijske programe predstavljajo le del pozitivnih učinkov, ki bogatijo slovenski znanstveni in raziskovalni renome.

Učinki projekta se odražajo tudi v prenosu rezultatov, ugotovitev in znanj v slovensko gospodarstvo, kar predstavlja pomembna izhodišča za razvojne priložnosti, krepitev konkurenčnosti slovenskih telekomunikacijskih ponudnikov na svetovnem trgu, ustvarjanje novih inovativnih podjetij ter odpiranje visoko specializiranih delovnih mest. Omeniti velja zlasti tesne vsebinsko povezane aktivnosti temeljnega projekta z aplikativnimi projekti v sodelovanju z industrijskimi partnerji ter generiranje intelektualne lastnine, rezultat česar sta dva uspešno pridobljena mednarodna patenta, tri vložene patentne prijave na področju samoorganizacijskih omrežij četrte generacije in vzpostavljeno slovensko start-up podjetje, ki se je uspešno lansiralo na trge Združenih držav Amerike. Na ta način je projekt prispeval k povečevanju možnosti za prodor na globalni trg komunikacij in dvig mednarodne prepoznavnosti, ter uspešnosti in primerljivosti obravnavane gospodarske veje, kar se posledično odraža v globalno pozitivnih učinkih tako za stroko in državo, kot tudi za družbo v celoti.

Obenem se preko opisanih aktivnosti povečujejo možnosti nadaljnjih sodelovanj s slovenskimi in tujimi partnerji, bodisi na znanstveno-raziskovalnem bodisi na aplikativno-komercialnem področju. To nam odpira vrata v mednarodne konzorcije in povezovanja, ki predstavljajo enega temeljnih vzvodov za prodor v tujino in dvig globalne prepoznavnosti, poleg tega pa predstavlja visoko motivacijo za vzdrževanje in nadgrajevanje akademske, znanstvene in poslovne odličnosti, ki je predpogoj za dvig dodane vrednosti panoge kot celote. Vsi navedeni učinki pomembno prispevajo k krepitvi uspešnega delovanja slovenske telekomunikacijske sfere in Slovenije kot celote v Evropski uniji in širše, s tem pa krepijo vlogo naše države in družbe v globalnem smislu.

ANG

The telecommunications sector represents one of the key strategic sectors for Slovenia. Given the current situation in the Slovenian industry, its growth and strengthening is therefore even more crucial, while its success depends on the generation and strengthening of strong basic and applied knowledge grounds through appropriately focused R&D activities.

Research, development and implementation of enhanced admission control techniques and technologies and herewith assurance of self-organizing, self-healing and quality-assured characteristics represent elemental contributions to the development of next generation communication technologies that pave the way for design and implementation of broadband wireless and mobile communication systems of the fourth generation. These represent basic communications infrastructure of the future in nearly all industrial and societal sectors. Further involvement of the addressed field is of strategic importance in terms of available advanced communication technologies for accelerated penetration of broadband connectivity, establishment of commercially promising mobile and wireless communication systems, implementation of tactical military infrastructure and emergency response systems, as well as setup of secure communications-driven digital society as a whole, as envisioned in the Slovenian and European strategic documents.

Outcomes of the project directly contribute to the establishment and strengthening of scientific, research and development potential of the Slovenian research and academic sphere as well as its international recognition. Dissemination in the form of publications in various recognized media, attendance of scientists at well-known conferences and congresses, and transfer of knowledge and experience into graduate and postgraduate studies represent only part of the positive effects that enrich the Slovenian research and scientific renome.

Through tight cooperation with industrial partners, outcomes of this project are provided also in the form of knowledge transfer towards Slovenian industry, building crucial grounds for development of new opportunities, strengthening of competitiveness of the Slovenian telecommunications providers in the global market, creation of new innovative companies and opening of highly specialized professional positions. Especially worth noting are thematically

related basic and conducted applied research activities in cooperation with industrial partners, resulting in intellectual property rights generation and protection with two granted international patents and three international patent applications in the field of 4G self-organized networks, and establishment of a Slovenian start-up company that was successfully launched to the United States of America markets. Herewith, scientific and business breakthrough potential on the global market and growth of international recognition are enlarged, altogether resulting in globally positive effects on the scientific field, the county and the society as a whole. At the same time, opportunities for further cooperation with Slovenian and foreign partners are opening as a result of the presented activities, either in the form of R&D or applied and commercial projects. Such activities open opportunities for international cooperation and networking, which is a vital element of an ambitious plan for successful exists to international markets and increase of recognition, and provide motivation for sustenance and strenghtening of academic, scientifi and business excellence, which is a precondition for achieving increased added value of the industry as a whole. All of the above impacts are of substantial importance in terms of further success of the Slovenian telecommunications domain and Slovenia as a whole within the European Union and beyond, providing a strategic long-term positioning of the country and the society globally.

11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE

	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE

	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33 Patent v Sloveniji		
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34 Svetovalna dejavnost		
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35 Drugo		
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

--

12.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☐	☐	☐	☐	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	☐	☐	☐	☐	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	☐	☐	☐	☐	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	☐	☐	☐	☐	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	☐	☐	☐	☐	
G.02.07.	Večji delež izvoza	☐	☐	☐	☐	
G.02.08.	Povečanje dobička	☐	☐	☐	☐	
G.02.09.	Nova delovna mesta	☐	☐	☐	☐	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	☐	☐	☐	☐	

G.02.11.	Nov investicijski zagon	☐	☐	☐	☐	
G.02.12.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	☐	☐	☐	☐	
G.03.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	☐	☐	☐	☐	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	☐	☐	☐	☐	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	☐	☐	☐	☐	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	☐	☐	☐	☐	
G.04.06.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete	☐	☐	☐	☐	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj	☐	☐	☐	☐	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	☐	☐	☐	☐	
G.09.	Drugo: 	☐	☐	☐	☐	

Komentar

13.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹²

	Sofinancer		
1.	Naziv		
	Naslov		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		
	1.		

		2.		
		3.		
		4.		
		5.		
		Komentar		
		Ocena		

14. Izjemni dosežek v letu 2012¹³**14.1. Izjemni znanstveni dosežek**

--

14.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

V temeljnem raziskovalnem projektu „Kontrola sodostopa do skupnega prenosnega kanala in mehanizmi razvrščanja v zankastem omrežju WiMAX“ smo zasnovali arhitekturo, tehnologije in mehanizme za izgradnjo zankastih omrežij četrte generacije (4G) z uporabo naprednih mehanizmov za krmiljenje dostopa in tehnik SON, ki omogočajo načrtovanje prilagojenih avtonomnih brezžičnih omrežij z dobro definiranimi performančnimi in QoS karakteristikami. Učinki projekta se odražajo v učinkovitem prenosu rezultatov, ugotovitev in znanj v slovensko gospodarstvo. Izsledki in dognanja projekta so pomembno prispevali pri vzpostavitvi in krepitvi industrijsko usmerjenega aplikativnega sodelovanja med Laboratorijem za telekomunikacije in visokotehnološkimi slovenskimi podjetji. Sodelovanje je rezultiralo v dveh pridobljenih mednarodnih patentih, treh pridobljenih mednarodnih patentnih prijavah ter slovenskim start-up podjetjem, ki se je uspešno lansiralo na trge Združenih držav Amerike.

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
elektrotehniko

Andrej Kos

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

6.3.2013

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/153

¹ Opredelite raziskovalno področje po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevajalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>).
[Nazaj](#)

² Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

³ Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

⁵ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁶ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁷ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁸ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁹ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹² Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

¹³ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2013 v1.00

8A-2D-C0-2E-50-22-EA-C0-C1-C3-D1-C1-EA-04-54-23-D9-76-98-00

TEHNIŠKE IN TEHNOLOŠKE VEDE

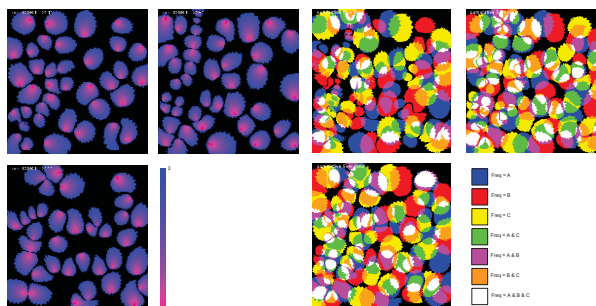
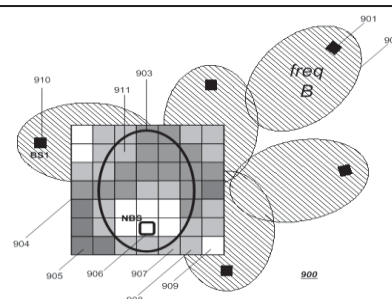
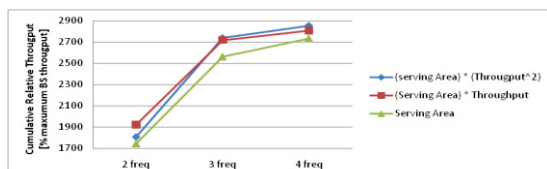
Področje: 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

Dosežek 1: Tehnologije, mehanizmi in algoritmi za izgradnjo zankastih omrežij četrte generacije (4G) z uporabo naprednih mehanizmov za krmiljenje dostopa, ki omogočajo načrtovanje prilagojenih avtonomnih brezžičnih omrežij z dobro definiranimi performančnimi in QoS karakteristikami.

Vir: LIKAR, Bojan, POSEL, Robert, KALAGASIDIS, Andreas, BEŠTER, Janez, KOS, Andrej, VOLK, Mojca, SEDLAR, Urban, MALI, Luka, STERLE, Janez. Method for cognitive 4G neighborhood selection : US8213942 (B2), 2012-07-03. Alexandria: United States Patent and Trademark Office, 2012.

Širokopasovno brezžično omrežje četrte generacije (4G)

- Uporaba tehnologij WiMAX in LTE/EPC
- Zagotovljena kakovost storitve (QoS), robustnost in samoozdravljivost sistema
- Nova generacija mehanizmov za krmiljenje dostopa
- Uporaba samoorganizacijskih tehnik (SON)



Opis dosežka oziroma učinka : V temeljnem raziskovalnem projektu „Kontrola sodostopa do skupnega prenosnega kanala in mehanizmi razvrščanja v zankastem omrežju WiMAX“ smo zasnovali arhitekturo, tehnologije in mehanizme za izgradnjo zankastih omrežij četrte generacije (4G) z uporabo naprednih mehanizmov za krmiljenje dostopa in tehnik SON, ki omogočajo načrtovanje prilagojenih avtonomnih brezžičnih omrežij z dobro definiranimi performančnimi in QoS karakteristikami. Učinki projekta se odražajo v učinkovitem prenosu rezultatov, ugotovitev in znanj v slovensko gospodarstvo. Izsledki in dognanja projekta so pomembno prispevali pri vzpostavitvi in krepitvi industrijsko usmerjenega aplikativnega sodelovanja med Laboratorijem za telekomunikacije in visokotehnoškimi slovenskimi podjetji. Sodelovanje je rezultiralo v dveh pridobljenih mednarodnih patentih, treh pridobljenih mednarodnih patentnih prijavih ter slovenskim start-up podjetjem, ki se je uspešno lansiralo na trge Združenih držav Amerike.

TEHNIŠKE IN TEHNOLOŠKE VEDE

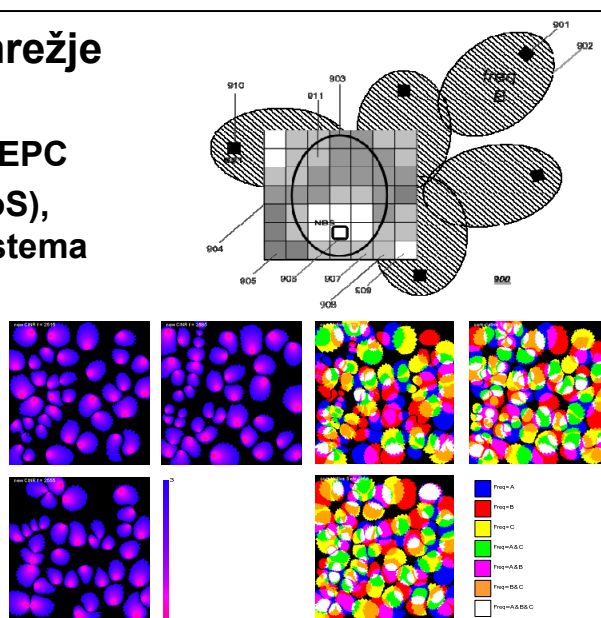
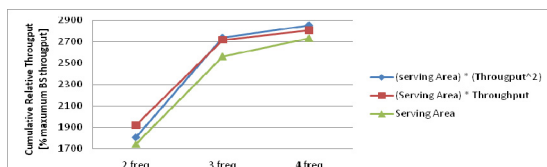
Področje: 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

Dosežek 1: Tehnologije, mehanizmi in algoritmi za izgradnjo zankastih omrežij četrte generacije (4G) z uporabo naprednih mehanizmov za krmiljenje dostopa, ki omogočajo načrtovanje prilagojenih avtonomnih brezžičnih omrežij z dobro definiranimi performančnimi in QoS karakteristikami.

Vir: LIKAR, Bojan, POSEL, Robert, KALAGASIDIS, Andreas, BEŠTER, Janez, KOS, Andrej, VOLK, Mojca, SEDLAR, Urban, MALI, Luka, STERLE, Janez. Method for cognitive 4G neighborhood selection : US8213942 (B2), 2012-07-03. Alexandria: United States Patent and Trademark Office, 2012.

Širokopasovno brezžično omrežje četrte generacije (4G)

- Uporaba tehnologij WiMAX in LTE/EPC
- Zagotovljena kakovost storitve (QoS), robustnost in samoozdravljivost sistema
- Nova generacija mehanizmov za krmiljenje dostopa
- Uporaba samoorganizacijskih tehnik (SON)



Opis dosežka oziroma učinka : V temeljnem raziskovalnem projektu „Kontrola sodostopa do skupnega prenosnega kanala in mehanizmi razvrščanja v zankastem omrežju WiMAX“ smo zasnovali arhitekturo, tehnologije in mehanizme za izgradnjo zankastih omrežij četrte generacije (4G) z uporabo naprednih mehanizmov za krmiljenje dostopa in tehnik SON, ki omogočajo načrtovanje prilagojenih avtonomnih brezžičnih omrežij z dobro definiranimi performančnimi in QoS karakteristikami. Učinki projekta se odražajo v učinkovitem prenosu rezultatov, ugotovitev in znanj v slovensko gospodarstvo. Izsledki in dognanja projekta so pomembno prispevali pri vzpostavitvi in krepitvi industrijsko usmerjenega aplikativnega sodelovanja med Laboratorijem za telekomunikacije in visokotehnoškimi slovenskimi podjetji. Sodelovanje je rezultiralo v dveh pridobljenih mednarodnih patentih, treh pridobljenih mednarodnih patentnih prijavih ter slovenskim start-up podjetjem, ki se je uspešno lansiralo na trge Združenih držav Amerike.