

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/73



ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

(za obdobje 1. 1. 2009 - 31. 12. 2014)

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

Šifra programa	P2-0016
Naslov programa	Telekomunikacijski sistemi Telecommunication systems
Vodja programa	5209 Gorazd Kandus
Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)	41007
Cenovni razred	B
Trajanje programa	01.2009 - 12.2014
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.08 Telekomunikacije
Družbeno-ekonomski cilj	04. Prevoz, telekomunikacije in druga infrastruktura
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

2. Povzetek raziskovalnega programa¹

SLO

Raziskovalni program Telekomunikacijski sistemi obsega raziskave in razvoj na področju komunikacijskih sistemov in storitev. Raziskovali smo predvsem brezžična omrežja, ki omogočajo uvedbo novih informacijskih in telekomunikacijskih storitev. Bodoča komunikacijska

omrežja potrebujejo nove, bolj učinkovite tehnike upravljanja z viri. Zato je bil glavni cilj raziskovalnega programa skupno proučevanje upravljanja radijskih, omrežnih in energijskih virov ter računskih zmogljivosti z namenom čim večjega izboljšanja spektralne in energijske učinkovitosti z uporabo bolj prilagodljivih, nastavljivih in dinamičnih arhitektur omrežja. Na področju radijskega prenosa smo raziskovali nove adaptivne modulacijske in kodne postopke ter postopke za oceno kvalitete radijskega kanala. Ugotavljali smo kompleksnost, močnostno učinkovitost ter kapaciteto radijskega kanala. Posebno pozornost smo posvetili iskanju adaptivnih postopkov prostorsko-časovnega kodiranja in multipleksiranja v večantenskih MIMO brezžičnih sistemih. Ukvarjali smo se z napovedovanjem stanja radijskega kanala, s preučevanjem zasedenosti radijskega spektra in z uvajanjem postopkov umetne inteligence v podporo delovanja kognitivnih radijskih omrežij. Na omrežnem nivoju smo raziskovali napredne postopke adaptivnega etapnega usmerjanja v satelitskem omrežju medsatelitskih povezav. Iskali smo optimalne poti glede na čim manjše zakasnitve paketov v omrežju in čim enakomernejšo obremenitev povezav. Del raziskovalnega programa je bil namenjen stratosferskim platformam, ki predstavljajo učinkovito telekomunikacijsko infrastrukturo za zagotavljanje brezžičnega dostopa do storitev v izrednih razmerah. Raziskovali smo arhitekture in omrežne topologije, ki podpirajo aplikacije na osnovi internetnega protokola, za povečanje kapacitete ali zanesljivosti prenosa pa smo proučevali tudi postopke priložnostnega omrežnega kodiranja. Delovanje novih postopkov in algoritmov smo preskušali in ocenjevali s pomočjo simulacijskih orodij za načrtovanje in izgradnjo brezžičnih telekomunikacijskih sistemov kot so GSM, UMTS, WiFi, WiMAX in LTE. Rezultate raziskav v nadzorovanem laboratorijskem okolju smo preverjali z meritvami na terenu. Pomembno mesto v raziskavah smo namenili tudi brezžičnim senzorskim omrežjem, njihovi integraciji v druga brezžična in mobilna omrežja in uporabi na različnih aplikativnih področjih. Pri tem smo pokrili celotno vertikalo od zasnove senzorskih vozlišč in njihovega povezovanja, do postavitve sistema za upravljanje s senzorskimi omrežji, podatki in metapodatki. Rezultat raziskovalnega dela je prispevek k razvoju področja komunikacijskih omrežij in storitev s poudarkom na učinkovitem ravnanju z viri. Raziskovalni rezultati so neposredno uporabni v bodočih brezžičnih in mobilnih omrežjih in prispevajo k socialni, ekonomski in kulturni rasti celotne družbe.

ANG

The research programme Telecommunication systems was covering the research and development in the broader field of communication systems and services. We were mainly considering wireless networks, which enable the introduction of new information and telecommunication services. Future communication networks require novel, more efficient resource management techniques. Thus, the main goal of the research programme was to jointly investigate the management of radio, network, computation and energy resources, aiming at significant improvement of the spectral and energy efficiency based on more flexible, configurable and dynamic network architecture. In the field of radio communications we were studying adaptive modulation and coding techniques, and techniques to assess the quality of radio channel. We investigated complexity, power efficiency and radio channel capacity. Particular attention was given to adaptive algorithms for space-time coding and multiplexing schemes in MIMO wireless systems. We were also studying techniques for radio channel forecasting, working on different techniques for radio spectrum sensing and investigating most suitable artificial intelligence methods for the support of cognitive radio networks. In the networking layer we investigated advanced techniques for adaptive traffic class dependant routing in the satellite network consisting of intersatellite links. We were looking for optimal routes in terms of average packet delay in the network and average normalized data throughput. Part of research programme was devoted to high altitude platforms, which represent an efficient telecommunication infrastructure for the provision of wireless access particularly in emergency situations. We studied architectures and network topologies which support applications based on the Internet protocol, and investigated procedures for opportunistic network coding with the aim to increase the network throughput or reliability. Performance evaluation of new methods and techniques was mainly supported by computer simulation tools for design and development of wireless telecommunication systems such as GSM, UMTS, WiFi, WiMAX and LTE. Investigations in controlled laboratory environment were complemented with field measurements. An important part of research efforts was devoted to wireless sensor networks, their integration into other wireless and mobile networks and use in various application fields. In this area we were covering the entire system vertical from the design of sensor nodes and their interconnection to designing the middleware for the

management of sensor networks, data and metadata. The outcome of research work provides an important contribution to the area of communication networks and services with the emphasis on efficient resource management. Research results are directly applicable in future wireless and mobile networks and will contribute to the social, economic and cultural development of the entire society.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem programu, (vključno s predloženim dopolnjenim programom dela v primeru povečanja financiranja raziskovalnega programa v letu 2014)²

SLO

Raziskovalni program Telekomunikacijski sistemi je v obdobju 2009-2014 obsegal raziskave in razvoj telekomunikacijskih omrežij, tehnologij in storitev. Ukvarjali smo se tudi z izobraževanjem mladih raziskovalcev ter s prenosom pridobljenega znanja in novih tehnologij v domače okolje.

Na področju radijskega prenosa smo raziskovali lastnosti razširjanja radijskega signala, radijski vmesnik, adaptivne modulacijske in kodne postopke, sinhronizacijske in izenačevalne postopke ter postopke za oceno kvalitete radijskega kanala. Ugotavljali smo kompleksnost in močnostno učinkovitost brezžičnih sistemov ter kapaciteto radijskega kanala. Iskali smo nove adaptivne postopke prostorsko-časovnega kodiranja v MIMO sistemih. Ukvarjali smo se z napovedovanjem stanja radijskega kanala in s postopki za prilagajanje sprejemnika napovedanim spremembam v kanalu ter z metodami za odpravljanje interference. Raziskovali smo modele razširjanja radijskega signala v posebnih okoljih kot so na primer cestni in železniški predori ter podzemne garaže.

Ukvarjali smo se tudi z modeliranjem brezžičnega optičnega kanala in z raziskavami razširjanja optičnih valov skozi atmosfero ter z vplivom turbulence in drugih vremenskih pojavov na brezžični optični prenos. Skupaj s TU Graz smo sodelovali pri načrtovanju in analizi postopkov za učinkovit prenos in povečanje razpoložljivosti povezav v hibridnih FSO/RF omrežjih.

V raziskavah brezžičnih komunikacij smo iskali optimalne omrežne topologije in raziskovali postopke za zagotavljanje upravljanja mobilnosti. Preučevali smo nove postopke za učinkovito povezovanje samo-organizirajočih in priložnostnih brezžičnih omrežij v hrbtenična omrežja in iskali napredne koncepte ter tehnologije za povečanje kapacitete brezžičnih zankastih omrežij s tehnikami omrežnega kodiranja. Nadgradili smo simulacijski model, ki omogoča ovrednotenje poljubnih algoritmov omrežnega kodiranja in usmerjevalnih postopkov v naključno generiranih topologijah brezžičnih zankastih omrežij s poljubno generiranimi prometnimi tokovi. Predlagali smo nove postopke omrežnega kodiranja, ki ob enaki oziroma boljši učinkovitosti potrebujejo manj režije. Za praktičen prikaz uporabe omrežnega kodiranja smo razvili postopek za izboljšanje razpršenega oddajanja multimedijskih vsebin v realnem času, ki temelji na omrežnem kodiranju in ga ovrednotili v testnem okolju.

Na področju kognitivnih komunikacij smo se osredotočili na radijski in dostopovni segment. Posvečali smo se predvsem samostojnemu in sodelujočemu zaznavanju zasedenosti radijskega spektra, izdelavi kart radijskega okolja, postopkom dinamičnega dodeljevanja radijskega spektra in uvajanju tehnologij s področja umetne inteligence za podporo avtonomnemu delovanju komunikacijskih naprav in omrežij. V prenosnem segmentu smo iskali rešitve za zagotavljanje večje avtonomnosti upravljanja z omrežjem.

Rezultati naših raziskav so tudi interdisciplinarni. Tako smo v sodelovanju s kolegi fiziki uspešno prenesli koncepte digitalne obdelave signalov, ki so bili v prvi vrsti razviti za optimizacijo razmerja signal/šum med radijskim prenosom, na področje obdelave signalov v jedrski spektrometriji. Raziskovali smo tudi visoko specializirane prilagodljive komunikacijske arhitekture, ki so primerne za široko paleto eksperimentov na področju detektorske fizike.

Preučevali smo možnosti za zmanjšanje računske zahtevnosti algoritmov za karakterizacijo radijskega signala v prostoru in za njihovo pospešitev na masivno-vzporednih računalniških arhitekturah. Razvili smo nove optimizacijske tehnike, ki so primerne tudi za reševanje vrste sorodnih problemov v sistemih, ki istočasno izvajajo operacije nad več podatkovnimi tokovi.

Pri raziskavah računskih postopkov za ovrednotenje razširjanja radijskega signala smo se posebej posvetili metodam sledenja radijskim žarkom in njihovi učinkoviti preslikavi na cevovodno procesiranje, ki je uveljavljeno v sorodnih metodah na področju računalniške

grafike. Razviti postopki so bili vključeni v odprtokodno okolje GRASS in preizkušeni v praksi pri načrtovanju in upravljanju telekomunikacijskega omrežja Telekoma Slovenije.

Znaten del naših raziskav je potekal v povezavi z raziskovalnim delom na mednarodnih projektih predvsem 7. okvirnega programa EU.

V projektu CITI-SENSE smo sodelovali pri vzpostavitvi senzorske infrastrukture za izboljšanje kakovosti življenja v mestih. Brezžično senzorsko enoto smo zasnovali na lastni platformi VESNA in jo opremili s senzorji za različne pline, klimatske parametre in delce. Senzorska enota omogoča izvajanje meritev med gibanjem ali pa na fiksni lokaciji tako v notranjih prostorih kot tudi v zunanjem okolju. Senzorska enota posreduje izmerjene podatke preko vmesnika WiFi pametnemu telefonu ali tabličnem računalniku, ki omogoča grafično predstavitev podatkov in njihov prenos preko mobilnega omrežja na centralni podatkovni strežnik.

V okviru projekta ABSOLUTE smo raziskovali inovativne robustne arhitekture telekomunikacijskih omrežij, ki so primerne za zagotavljanje varnih širokopasovnih storitev na večjih geografskih področjih, prizadetih zaradi naravnih ali drugih nesreč. Sodelovali smo pri razvoju novih naprednih tehnik za zaznavanje zasedenosti in za upravljanje z radijskim spektrom. Zasnovali smo senzorsko omrežje, ki se integrira v komunikacijsko omrežje s ciljem zaznavanja okoljskih parametrov na prizadetem področju in zaznavanja zasedenosti radijskega spektra. Izvedli smo optimizacijo geografske postavitve in števila ad-hoc zemeljskih in zračnih baznih postaj. Predlagali smo postopke za upravljanje z mobilnostjo, ki upoštevajo lastnosti dinamičnega heterogenega omrežja. Razvili smo simulacijsko okolje za oceno prenosnih zmogljivosti spreminjajočega se LTE-A omrežja, ki temelji na kartah radijskega okolja in upošteva značilnosti komuniciranja v izrednih razmerah.

V okviru evropske mreže odličnosti PlanetData smo raziskovali vertikalno integracijo različnih tehnologij brezžičnih senzorskih in komunikacijskih omrežij s semantičnimi tehnologijami za podporo samodejnemu odkrivanju in povezovanju senzorjev in senzorskih podatkov. Ukvarjali smo se tudi z uvajanjem povsem novih aplikacij s podporo različnih algoritmov strojnega učenja in odločanja.

V okviru ESA projekta SatProSi smo na osnovi programirljivega radia razvili nizkocenovno zemeljsko postajo za sprejem in obdelavo satelitskih signalov v Ka frekvenčnem pasu. Izdelali smo tudi programska orodja za statistično obdelavo sprejetih satelitskih signalov. V Gradcu smo postavili enega izmed naših satelitskih sprejemnikov in podpisali Sporazum o razumevanju z Joanneum Research za izmenjavo, primerjavo in oceno Alphasat izmerjenih podatkov.

Za potrebe projekta CREW smo na osnovi senzorske platforme VESNA zgradili eksperimentalno senzorsko okolje LOG-a-TEC, ki je primerno za izvajanje eksperimentalnih raziskav na področju zaznavanja radijskega spektra, kognitivnega radia in kognitivnih omrežij, ter je povezano tudi v evropsko iniciativo raziskovalnih infrastruktur interneta prihodnosti FIRE. Razvili smo več modulov za zaznavanje zasedenosti radijskega spektra na frekvenčnih področjih VHF, UHF in ISM na principu detekcije energije signalov ter modul za napredno zaznavanje zasedenosti UHF spektra na podlagi kovariančnih metod, ki omogoča bistveno boljšo občutljivost in s tem zanesljivost ugotavljanja nezasedenih delov radijskega spektra. Razvili smo tudi orodje ProtoStack, ki omogoča eksperimentalno sestavljanje, rekonfiguriranje in reprogramiranje protokolnega sklada CRIME med samim delovanjem. S tem eksperimentalnim okoljem smo se vključili tudi v projekt Fed4FIRE, kjer bomo privzeli in po potrebi prilagodili skupna orodja za dostop do omrežja ter za zasnovo, izvajanje in nadzor eksperimentov na daljavo.

V zadnjem obdobju smo v okviru novega projekta SUNSEED začeli raziskovalne aktivnosti s področja senzorskih tehnologij ter optimizacije in upravljanja omrežij pričeli aplicirati tudi na področje pametnih energetskih omrežij, s katerimi smo se ukvarjali tudi v okviru projekta SMER+ OVE@PZ. Osredotočili smo se na razvoj modulov za oceno stanja v niskonapetostnem omrežju, ki zaradi svojih specifik predstavlja poseben izziv. Razvili smo senzorsko platformo za merjenje porabe elektrike, napetosti, toka, frekvence in distorzijskega faktorja pri porabnikih. Razvili smo pametno vtičnico, ki meri porabo električne energije in omogoča daljinski vklop in izklop uporabnika. Izmerjene podatke o porabi električne energije pošiljamo preko protokola M-bus v centralno procesno enoto Sungate, ki je povezana z vremensko postajo. S pomočjo platforme za analizo velike količine podatkov QMiner lahko predvidevamo in usklajujemo proizvodnjo električne energije sončnih celic.

V sodelovanju s podjetjem Hella smo v okviru projekta ProaSense sodelovali pri izdelavi

sistema za podporo pri odločanju, ki iz podatkov proizvodnje in izmerjenih podatkov o stanju okolice napoveduje kvaliteto proizvedenih žarometov.

V okviru projekta SMER+ Pametni avtodom smo razvili senzorske in komunikacijske rešitve za inteligentno upravljanje avtodoma. Razvili smo namenski krmilnik in ga vgradili v testni avtodom naslednje generacije podjetja Adria Mobil. Vgrajeni moduli pošiljajo izmerjene podatke po vodilu CAN v centralno procesno enoto avtodoma zasnovano na platformi BeagleBone. Na podlagi zbranih podatkov ocenimo s pomočjo pametnih algoritmov navade uporabnikov, ki jih potem uporabimo pri napovedovanju porabe virov v avtodomu. Modul omogoča tudi povezavo s pametnim telefonom ali tablico, daljinski nadzor avtodoma in centralo zbiranje podatkov preko vgrajenega modula GPRS.

V okviru projekta Ministrstva za izobraževanje znanost in šport za sofinanciranje projektov razvoja in vzpostavitve e-storitev in mobilnih aplikacij na področju napredne uporabe IKT v izobraževanju smo začeli z delom na projektu »Opazuj, sklepaj, ukrepaj (OSU)«, katerega glavni namen je razviti učni pripomoček, ki bo omogočal oddaljeno zbiranje, pregled, analizo podatkov ter dodajanje podatkovnih virov.

Pomemben raziskovalni uspeh predstavlja podelitev dveh patentov pri ameriškem patentnem uradu. Prvi patent se nanaša na novo iterativno metodo, ki omogoča učinkovito določitev položaja mobilne postaje. Metoda temelji na meritvi moči sprejetega signala iz najmanj dveh baznih postaj. Drugi patent pa je bil podeljen za metodo, ki podpira samodejno nastavitve in optimizacijo parametrov nove bazne postaje v brezžičnem telekomunikacijskem omrežju. Oba patenta sta nastala v sodelovanju s slovenskim podjetjem 4G Neuron, kasneje pa ju je prevzelo ameriško podjetje Accelera Mobile Broadband, Inc.

V sodelovanju s Telekomom Slovenije smo v odprtokodnem GIS okolju GRASS razvili in implementirali programske module RaPlaT za izračun izgube poti in pokritosti z radijskim signalom v frekvenčnem območju 300 MHz - 3 GHz.

V okviru Kompetenčnega centra OPCOMM smo sodelovali pri zasnovi odprte komunikacijske platforme za razvoj novih storitev in aplikacij za internet stvari. Sodelovali smo pri načrtovanju komunikacijskega sistema, ki omogoča zbiranje različnih tipov podatkov iz senzorskih omrežij in zaznavanje njihovega konteksta. Za prenos do jedra platforme smo zasnovali ustrezne podatkovne vmesnike in komunikacijske protokole.

V okviru dodatno odobrenih sredstev raziskovalnega programa smo v letu 2014 razvili nov modul za izračun pokritja z radijskim signalom v frekvenčnem območju 30 MHz do 3 GHz, ki temelji na ITU-R priporočilu P.1546-4. Modul je zlasti primeren za izračun pokritja v primeru radiodifuzijskih storitev. Modul smo vgradili v odprtokodno programsko orodje GRASS-RaPlaT, ki smo ga vrsto let razvijali za potrebe Mobitela. Naredili smo tudi primerjavo s klasičnim modulom, ki temelji na modelu Okumura-Hata. S pomočjo Python skript smo modul povezali z ostalimi moduli v enoten sistem, ki je dostopen z IJS internetne strani.

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem programu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

SLO

Ob primerjavi planiranega programa dela za obdobje 2009-2014 in poročila o realizaciji tega raziskovalnega programa, povzetega v predhodni točki, lahko ugotovimo, da so bili cilji raziskovalnega programa v celoti doseženi, tako v vsebinskem pogledu, kot tudi glede kvalitete doseženih rezultatov.

Omeniti velja, da v programski skupini vsi člani, ki imajo doktorat znanosti presegajo v metodologiji navedene pogoje za članstvo in sicer $A' > 25$ in $A1/2 > 25$, kar dokazuje visoko kvaliteto vseh članov skupine.

Člani programske skupine smo v obdobju 2009-2014 objavili 55 izvirnih člankov v znanstvenih revijah. 33 člankov smo objavili v revijah s faktorjem vpliva, od tega 15 v prvem kvartilu. Pri uglednih mednarodnih založbah smo objavili 5 samostojnih znanstvenih sestavkov in eno monografijo. Če primerjamo te rezultate z objavami v predhodnem petletnem obdobju 2004-2008, v katerem smo objavili 11 člankov v revijah s faktorjem vpliva, od tega 4 v najvišjem razredu, lahko ugotovimo trikratno povečanje objav v najkvalitetnejših revijah pri istem obsegu financiranja.

Posebej velja omeniti objave v naslednjih revijah iz prvega kvartila:

- IEEE Communications Surveys and Tutorials, IF= 6.49, YE: 2/78
- Proceedings of the IEEE, IF=6.8, IQ: 2/245
- IEEE Journal on Selected Areas in Communications, IF=3.758, YE: 2/76
- IEEE Wireless Communications, IF=2.394, YE: 6/76
- IEEE transactions on Parallel and Distributed Systems IF=2.173, EX: 10/100

Med raziskovalnimi dosežki sta posebno pomembna dva ameriška patenta s področja upravljanja in delovanja samoorganiziranih omrežij 4G in knjižna objava pri založbi Wiley, ki obravnava problematiko širokopasovnih komunikacij preko stratosferskih ploščadi.

Objavili smo 128 znanstvenih prispevkov v zbornikih domačih in tujih konferenc, imeli 5 vabljenih predavanj na konferencah in 13 vabljenih predavanj na tujih univerzah. V COBISSu imamo zavedenih 94 končnih poročil, elaboratov in študij.

Zelo aktivni smo bili pri pridobivanju novih projektov. Sodelovali smo v 12 projektih okvirnega programa EU: SatNEx II, AgroSense, IDEALIST2011, ACTIVE, PlanetData, BalkanGEONet, CREW, Absolute, CITI-SENSE, SUNSEED, ProaSense in Fed4FIRE. Sodelovali smo tudi v 9 COST projektih ter v enem bilateralnem projektu.

Sodelovali smo v ESA PECS projektu SatProSi in si zaradi odličnih rezultatov zagotovili kot edini na IJS podaljšanje projekta za dve leti. Sodelovali smo v EU tehnološki platformi ISI, ki se je ob pričetku programa Horizont 2020 preoblikovala v novo tehnološko platformo Net!works, ter v iniciativi FIRE.

5.Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v letu 2014⁴

SLO

Programska skupina se v letu 2014 ni spreminjala. Sprememb raziskovalnega programa ni bilo.

6.Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	27108391	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Raziskava modeliranja radijskega razširjanja za predore
		ANG	A survey of radio propagation modeling for tunnels
	Opis	SLO	Modeliranje razširjanja radijskega signala ima pomembno vlogo pri načrtovanju brezžičnih komunikacijskih sistemov. Za brezžične komunikacijske sisteme so bili za različna okolja razviti različni modeli za napovedovanje obnašanja radijskega razširjanja. V tem prispevku smo se omejili na najnovejše dosežke v modeliranju radijskega razširjanja, ki so povezani s predori. Pregledali smo najpomembnejše pristope k modeliranju, ki se uporabljajo za razširjanje v predorih, in sicer, numerične metode za reševanje Maxwellovih enačb, valovodni ali modalni pristop, metodo sledenja žarku in dvonaklonske metode modeliranja izgube poti. Pristope smo obravnavali s stališča kompleksnosti modeliranja in zahtevane informacije o okolju, vključno z geometrijo predora in električnimi ter magnetnimi lastnostmi sten. Prispevek je bil objavljen v najvišje rangirani mednarodni reviji s področja telekomunikacij.
		ANG	Radio signal propagation modeling plays an important role in designing wireless communication systems. Different models have been developed to predict radio propagation behavior for wireless communication systems in different operating environments. In this paper we limited the discussion to the latest achievements in radio propagation modeling, related to tunnels. The main modeling approaches used for propagation in tunnels are reviewed, namely, numerical methods for solving Maxwell equations,

		waveguide or modal approach, ray tracing based methods and twoslope path loss modeling. They are discussed in terms of modeling complexity and required information on the environment including tunnel geometry and electric as well as magnetic properties of walls. The article was published in the highest ranked international journal in the area of telecommunications.
	Objavljeno v	IEEE Communications Society; IEEE Communications surveys and tutorials; 2014; Vol. 16, no. 2; str. 658-669; Impact Factor: 6.490; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.394; A'': 1; A': 1; WoS: ET, YE; Avtorji / Authors: Hrovat Andrej, Kandus Gorazd, Javornik Tomaž
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	25035303 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Vloga stratosferskih ploščadi v globalni brezžični povezljivosti
		<i>ANG</i> The role of high-altitude platforms (HAPs) in the global wireless connectivity
	Opis	<i>SLO</i> V članku je strnjeno večletno delo v okviru vrste mednarodnih projektov na področju raziskav in razvoja širokopasovnih komunikacij preko stratosferskih ploščadi (HAPs) s poudarkom na vlogi stratosferskih ploščadi pri zagotavljanju globalne brezžične povezljivosti. V članku smo ovrednotili ustreznost vrste sodobnih komunikacijskih tehnologij ter navedli izzive in smernice za nadaljnji razvoj ter njihovo uporabo na stratosferskih ploščadah, vključno s kognitivnim radijem in dinamičnim dodeljevanjem radijskega spektra. Članek sodi v serijo vabljenih člankov ob stoletnici izdajanja prestižne revije "Proceedings of the IEEE" s širšega področja elektrotehnike (prvi kvartil, 2/245) z nadpovprečnim faktorjem vpliva.
		<i>ANG</i> In the article we summed several years of research and development in the area of broadband communications via high altitude platforms (HAPs) with the emphasis on the role of HAPs in the provision of global wireless connectivity. In the paper we evaluated the suitability of several advanced communication technologies for their use on HAPS, including cognitive radio and dynamic spectrum access, and provided challenges and directions for future research work. The article is one in the series of invited articles published upon a centennial year of publication of prestigious journal "Proceedings of the IEEE" in the broader field of electrical engineering (first quartile, 2/245) with an impact factor significantly above the average.
	Objavljeno v	Institute of Electrical and Electronics Engineers; Proceedings of the IEEE; 2011; Vol. 99, no. 11; str. 1939-1953; Impact Factor: 6.810; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.323; A'': 1; A': 1; WoS: IQ; Avtorji / Authors: Mohammed Abbas, Mehmood Asad, Fotini-Niovi Pavlidou, Mohorčič Mihael
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	23992615 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Širokopasovne komunikacije preko stratosferskih ploščadi
		<i>ANG</i> Broadband communications via high-altitude platforms
	Opis	<i>SLO</i> Znanstvena monografija, izdana pri eni vodilnih mednarodnih založb Wiley, podaja podroben pregled razvoja in sedanjega stanja tehnologij, ki omogočajo uporabo stratosferskih ploščadi za zagotavljanje komunikacijskih storitev. To vključuje pregled problematike na področjih aeronavtike, aplikacij in poslovnih modelov ter trendov prihodnjega razvoja zagotavljanja širokopasovnih storitev. Podrobno obravnava zagotavljanje širokopasovnih komunikacij preko stratosferskih ploščadi, obratovalno okolje, napredne komunikacijske tehnike za učinkovito upravljanje z viri radijskih povezav, vključno s kognitivnim radijem in dinamičnim

		dodeljevanjem radijskega spektra, ter uporabo optičnih komunikacij.
	ANG	The scientific monograph issued at a prominent international publisher Wiley provides state of the art overview in highaltitude platform (HAP) enabling technologies, addressing recent research activities and results. It explores the enabling technologies and economics of HAPbased communication systems, including issues related to aeronautics, applications and business modelling, as well as future trends in broadband service provisioning. Furthermore, it discusses broadband wireless communications from HAPs, the operating environment, advanced communication techniques for efficient radio link resource management, including cognitive radio and dynamic spectrum access, and the use of free space optical communication.
	Objavljeno v	Wiley; 2010; XXII, 372 str.; A": 1;A': 1; Avtorji / Authors: Grace David, Mohorčič Mihael, Kedhar Debbie, Chen Guanhua, Likitthanasate Pairoj, Novak Roman, Javornik Tomaž
	Tipologija	2.01 Znanstvena monografija
4.	COBISS ID	22803495 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Dinamično sestavljanje transportnih telekomunikacijskih storitev
		ANG Dynamic composition of service for end-to-end information transport
	Opis	SLO V prispevku predlagamo sestavljanje transportnih storitev med končnimi uporabniki za prenos vsebin na podlagi konceptov znanih iz storitveno orientiranih arhitektur (SOA). Primerjamo koncepte SOA z referenčnim modelom OSI in pokažemo na glavni prednosti konceptov SOA, to sta dinamičnost in prilagodljivost. Na podlagi teh ugotovitev proučujemo koncept storitveno orientiranega omrežja, ki temelji na sestavljanju komunikacijskih storitev preko dostopovnega in jedrnega omrežja in pokažemo, kako lahko pri izbiri dostopovnega omrežja uporabimo semantične tehnologije. Prav modeliranje znanja oziroma vedenja o sistemu predstavlja skupaj z uporabo metod strojnega učenja in odločanja jedro koncepta kognitivnega sistema, ki smo ga v članku prikazali na primeru kognitivnega omrežja. Članek je bil objavljen v priznani mednarodni reviji iz prvega kvartila (6/76) in je bil večkrat citiran.
		ANG In this article, we propose an end-to-end service composition for information transport based on principles from Service Oriented Architecture (SOA). SOA principles are similar to those behind the division of labour, therefore should incentivise providers to adopt them to make better use of resources and increase the revenue. As we show, some SOA concepts are similar to concepts in Open Systems Interconnection (OSI) reference model, with the key advantages of dynamism and flexibility. We discuss Service Oriented Networks (SON) based on transport service composition across access and core segments and describe an access network selection for online gaming. It is knowledge modelling and representation along with machine learning and decision making methods that form the core of the cognitive system concept, in this article demonstrated on the case of cognitive network. The article was published in renowned international journal from the first quartile (6/76) and has been so far cited several times.
	Objavljeno v	Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE wireless communications; 2009; Vol. 16, no. 4; str. 56-62; Impact Factor: 2.394;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.954; A': 1; WoS: ES, ET, IQ, YE; Avtorji / Authors: Fortuna Carolina, Mohorčič Mihael
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	22595367 Vir: COBISS.SI

Naslov	SLO	Trendi razvoja na področju kognitivnih omrežjih
	ANG	Trends in the development of communication networks
Opis	SLO	V članku je narejen pregled obstoječih raziskav na kognitivnih omrežjih ter z njimi povezanimi tehnikami in tehnologijami. Podano je naše videnje koncepta kognitivnih omrežij s poudarkom na uporabnosti različnih tehnik umetne inteligence pri njegovem razvoju. Identificirane tehnike povežemo z ustreznimi stanji kognitivne zanke, primerjamo predloge arhitektur, ki ustrezajo zahtevam kognitivnega omrežja, obravnavamo njihove prednosti in identificiramo bodoče raziskovalne izzive. Članek je bil objavljen v priznani mednarodni reviji Computer Networks z nadpovprečnim faktorjem vpliva in je med 10 najbolj citiranimi članki v tej reviji v zadnjem petletnem obdobju.
	ANG	In the paper we survey the existing research on cognitive networks, related and enabling techniques and technologies. We provide our position with respect to the cognitive networking concept with the emphasis on suitability of various artificial intelligence techniques for its development. We map identified techniques to the corresponding states of the cognition loop, compare architectural proposals that comply with the requirements for a cognitive network, discuss their relative merits and identify some future research challenges. The article was published in renowned international journal with an impact factor above average and it was ranked among the 10 most cited articles in this journal in the past 5-year period.
Objavljeno v	Elsevier; Computer networks; 2009; Vol. 53, no. 9; str. 1354-1376; Impact Factor: 1.201; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.954; WoS: ES, ET, IQ, YE; Avtorji / Authors: Fortuna Carolina, Mohorčič Mihael	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine⁶

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID	27150119	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	GRASS-RaPlaT orodje za izračun pokritosti z radijskim signalom v frekvenčnem območju 30 MHz do 3 GHz	
	ANG	GRASS-RaPlaT tool for calculating radio signal coverage in the frequency band 30 MHz to 3 GHz	
Opis	SLO	Za potrebe podjetja Mobitel / Telekom Slovenije smo kot nadgradnjo odprto-kodnega GIS okolja GRASS razvili programsko orodje za izračunavanje radijskega pokritja, ki temelji na modelih kot so Okumura-Hata, Walfish-Ikegami in model 9999 ali na algoritmi sledenja radijskim žarkom. Orodje je uporabno za načrtovanje različnih mobilnih in brezžičnih omrežij kot so GSM, UMTS, WiFi, WiMAX in LTE. Orodje je zasnovano popolnoma modularno in omogoča nadgradnjo, je neodvisno od specifične tehnologije in je primerno za vzporedno, večprocesorsko izvajanje. Orodje je kot ločen modul integrirano v naročnikov programski paket za nadzor radijskih omrežij in v vsakdanji rabi v omrežju največjega mobilnega operaterja v Sloveniji. Izdelali smo tudi modul za izračun pokritja s signalom za radiodifuzijske storitve ter pohitrili izračun širjenja radijskega žarka z vzporedno implementacijo na grafični procesorski enoti. Poleg tega smo pripravili uporabniku prijazno verzijo GRASS-RaPlaT orodja, ki je prosto dostopna s spletne strani IJS.	
		Using an open-source GIS environment GRASS as a baseline we developed for the needs of Mobitel / Telekom Slovenije a software tool for radio	

			coverage calculation based on models such as Okumura-Hata, Walfish-Ikegami and model 9999 as well as on ray-tracing algorithms. The tool is suitable for radio network planning in various mobile and wireless networks including GSM, UMTS, WiFi, WiMAX and LTE. The tool is based on a fully modular approach and enables upgrading, it is independent of any particular technology and suitable for parallel, multiprocessor execution. The tool is integrated as a separate module in the software package for monitoring radio networks and in daily use by the largest mobile operator in Slovenia. We developed also a module for calculating signal coverage for broadcasting services and sped up the calculation of ray tracing method by parallel implementation on graphics processing unit. We have also prepared a user-friendly version of GRASS-RaPlAT tool, which is openly accessible from the JSI website.
	Šifra	F.06	Razvoj novega izdelka
	Objavljeno v	KoREMA = Croatian Society for Communications, Computing, Electronics, Measurement and Control; Conference proceedings; 2013; 5 str.; Avtorji / Authors: Hrovat Andrej, Vilhar Andrej, Ozimek Igor, Javornik Tomaž, Kocan Enis	
	Tipologija	1.08	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
2.	COBISS ID	26851879	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Razvoj senzorske platforme VESNA
		<i>ANG</i>	Development of sensor platform VESNA
	Opis	<i>SLO</i>	Razvili in dopolnili smo senzorsko platformo VESNA, ki jo odlikujejo visoke procesne zmogljivosti, majhna poraba moči in združljivost z vrsto komunikacijskih tehnologij. Modularna zasnova in odprte specifikacije strojne ter programske opreme zagotavljajo enostavno in učinkovito prilagodljivost uporabi v raziskavah, razvoju ali končnih produktih. Z vertikalno integracijo tehnologij brezžičnih senzorskih omrežij in semantičnih tehnologij, kot tudi z uporabo algoritmov strojnega učenja in odločanja, podpira platforma koncept storitveno orientiranega senzorskega omrežja. Razvili smo vrsto modulov, ki omogočajo realizacijo aplikacijsko pogojenih funkcionalnosti in prehod v druga komunikacijska omrežja. Prek vrste digitalnih in analognih vmesnikov podpira platforma širok nabor senzorjev in aktuatorjev.
		<i>ANG</i>	We have developed and upgraded a sensor platform VESNA, distinguished by high processing capability, low power consumption and compatibility with a wide range of communication technologies. Modular design and open specifications of hardware and software provide easy and efficient adaptability for use in research, development or final products. With vertical integration of wireless sensor networks technologies and semantic technologies, as well as with the use of machine learning and decision making algorithms, the platform supports a concept of service-oriented sensor network. We developed a set of expansion boards that allow the realization of application specific functionality and transition into other communications networks. Through a series of digital and analogue interfaces the platform supports a wide range of sensors and actuators.
	Šifra	F.08	Razvoj in izdelava prototipa
	Objavljeno v	Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Zbornik; 2013; Str. 108-115; Avtorji / Authors: Bekan Adnan, Fortuna Carolina, Vučnik Matevž, Mohorčič Mihael	
	Tipologija	1.08	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
3.	COBISS ID	27037223	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Postavitev odprtega eksperimentalnega senzorskega omrežja LOGaTEC

		ANG	Setting up experimental sensor network LOGaTEC
Opis		SLO	V sodelovanju z Občino Logatec in Komunalnim podjetjem Logatec smo postavili odprto eksperimentalno senzorsko omrežje LOG-a-TEC, ki omogoča zaznavanje in analizo zasedenosti radijskega spektra v frekvenčnih področjih ISM in UHF in je zasnovano na podlagi na IJS razvite platforme za brezžična senzorska omrežja VESNA. Eksperimentalno omrežje LOG-a-TEC je v okviru projekta 7.OP CREW iz evropske iniciative FIRE namenjeno eksperimentalnim raziskavam in razvoju na področjih kognitivnega radia in kognitivnih omrežij. Omogoča tudi evalvacijo tehnologij, naprav, algoritmov in protokolov na področju Interneta stvari. Kot edino eksperimentalno omrežje, ki obratuje v realnem zunanjem okolju, je na voljo tako domačim kot tujim raziskovalnim skupinam.
		ANG	In collaboration with the Municipality of Logatec and Public Utilities Company Logatec we set up an open sensor network testbed LOG-a-TEC, which allows the detection and analysis of availability of radio spectrum in the ISM and UHF frequency bands and is based on the sensor platform VESNA developed at JSI. The LOG-a-TEC testbed is part of the FP7 project CREW from the European initiative FIRE, dedicated to experimentally driven research and development in the fields of cognitive radio and cognitive networks. It also allows evaluation of technologies, devices, algorithms and protocols in the domain of Internet of Things. As the only experimental network for cognitive radio networking operating in the real outdoor environment, it is available for both national and foreign research groups.
Šifra	F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
Objavljeno v	s. n.]; ISWCS'13; 2013; 5 str.; Avtorji / Authors: Mohorčič Mihael, Smolnikar Miha, Javornik Tomaž		
Tipologija	1.08	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
4.	COBISS ID	23790631	Vir: COBISS.SI
Naslov		SLO	Iterativni lokalizacijski postopki in metoda upravljanja samoorganiziranih omrežij
		ANG	Iterative localization techniques and method for self organizing network management
Opis		SLO	Pomemben raziskovalni in razvojni uspeh predstavlja podelitev dveh patentov pri patentnem uradu USPTO. Prvi patent se nanaša na iterativno metodo, ki omogoča učinkovito določitev položaja 4G mobilne postaje. Metoda temelji na meritvi moči sprejetega signala iz najmanj dveh baznih postaj, ki sta postavljeni v različnih smereh in sta različno oddaljeni od mobilne postaje. Drugi patent je podeljen za metodo, ki podpira samodejno nastavitvev in optimizacijo parametrov nove bazne postaje v brezžičnem celičnem telekomunikacijskem omrežju. Metoda temelji na avtomatsko pridobljenih podatkih o lokaciji nove bazne postaje in lokaciji sosednjih baznih postaj ter na seznamu razpoložljivih frekvenc, ki omogočajo izračun optimalnih radijskih parametrov, ki se nato uporabijo v procesu samodejne nastavitvev nove bazne postaje. Oba patenta sta prvotno nastala v sodelovanju s slovenskim podjetjem 4G Neuron, kasneje pa ju je prevzelo ameriško podjetje Accelera Mobile Broadband, Inc., kar je patentoma povečalo možnosti za prodor na svetovni trg.
			Significant research and development success represents a grant of two patents by the U.S. Patent Office. The first patent relates to an iterative method, which enables efficient position determination of the 4G mobile station. The method is based on measurement of the power of the received signal from at least two base stations which are positioned in different directions and have different distance from the mobile station. The second patent was granted for a method that supports automatic setup and optimization of a new base station parameters in the wireless cellular

		ANG	telecommunication network. The method is based on automatically obtained data on the location of new base stations and the location of neighboring base stations and the list of available frequencies, which allow calculation of the optimal radio parameters, used in the process of automatic setting of the new base station. Both patents were originally developed in cooperation with the Slovenian company 4G Neuron, subsequently taken over by the American company Accelera Mobile Broadband, Inc., which gives the patents greater potential to penetrate the global market.
	Šifra	F.32	Mednarodni patent
	Objavljeno v	US Patent Office; 2013; A": 1;A': 1; Avtorji / Authors: Likar Bojan, Posel Robert, Kalagasidis Andreas, Javornik Tomaž, Kandus Gorazd, Mohorčič Mihael, Švigelj Aleš, Bešter Janez, Kos Andrej, Smolnikar Miha	
	Tipologija	2.24	Patent
5.	COBISS ID	23415591	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Sodelovanje v mednarodnih projektih in prenos novih znanj in tehnologij v domače okolje
		ANG	Participation in international projects and transfer of new knowledge and technologies in national environment
	Opis	SLO	Člani raziskovalnega programa so v zadnjem petletnem obdobju sodelovali oziroma bili na Institutu Jožef Stefan nosilci mednarodnih projektov šestega in sedmega okvirnega programa EU: 6.OP SatNEx II, 7.OP AgroSense, 7.OP IDEALIST2011, 7.OP ACTIVE, 7.OP PlanetData, 7.OP BalkanGEONet, 7.OP Absolute, 7.OP CREW, 7.OP CITI-SENSE, 7.OP SUNSEED in ESA PECS projekt SatProSi. Člani skupine so bili tudi nacionalni predstavniki v upravnih odborih in sodelavci v naslednjih COST projektih: COST 290, COST 297, COST 2100, COST IC0802, COST IC0902, COST IC0906, COST IC1004, COST IC1101 in COST IC1104. Rezultat sodelovanja v mednarodnih projektih je prenos ekspertnega znanja in novih znanstvenih dosežkov s področij brezžičnih komunikacij ter kognitivnih radijskih in senzorskih omrežij v domače okolje. Prenos znanja se je izvajal v okviru projektov za posamezna podjetja kot so Telekom Slovenije, Mobitel, Telsima, 4G Neuron, XLAB, Cosylab, Computel in Adria Mobil ter v okviru projektov Tehnološke mreže ICT oziroma Kompetenčnega centra OPCOMM, kjer smo intenzivno sodelovali s podjetji Alpineon, Špica International, Iskratel in Iskra Sistemi. Prenos znanja se je izvajal tudi preko pedagoške in mentorske dejavnosti, predvsem v okviru Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana.
		ANG	During the past five years, members of the programme group were collaborators or project leaders in the following FP6 and FP7 projects at the Jožef Stefan Institute: FP6 SatNEx II, FP7 AgroSense, FP7 IDEALIST2011, FP7 ACTIVE, FP7 PlanetData, FP7 BalkanGEONet, FP7 Absolute, FP7 CREW, FP7 CITI-SENSE, FP7 SUNSEED and ESA PECS project SatProSi. Members of the programme group were also national representatives or management committee members in the following COST Actions: COST 290, COST 297, COST 2100, COST IC0802, COST IC0902, COST IC0906, COST IC1004, COST IC1101 and COST IC1104. The result of participation in international projects is transfer of the expert knowledge and new scientific achievements from the fields of wireless communications, cognitive radio and sensor networks to the national environment through projects for the companies such as Telekom Slovenije, Mobitel, Telsima, 4G Neuron, XLAB, Cosylab, Computel and Adria Mobil, and through the ICT Technology Network or Competence centre OPCOMM, where we cooperated with companies Alpineon, Špica International, Iskratel and Iskra Sistemi. Knowledge transfer was also carried out through the educational and mentoring activities, particularly

		within the Jozef Stefan International Postgraduate School.
Šifra	F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
Objavljeno v	PSCA; Public service review, European Union; 2010; No. 19; str. 1; Avtorji / Authors: Kandus Gorazd	
Tipologija	1.05	Poljudni članek

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine²

Pri sodelovanju v EU in drugih mednarodnih projektih smo navezali stike s številnimi člani univerz, inštitutov in podjetij v Avstriji, Nemčiji, Veliki Britaniji, Belgiji, Italiji, Grčiji in Češki ter se pri tem seznanili z najnovejšimi znanji in tehnologijami na področju komunikacijskih sistemov. Pridobljena znanja in izkušnje smo prenašali v Slovenijo preko projektov, ki so jih financirala domača podjetja: Telekom Slovenije, Mobitel, Telsima, 4G Neuron, XLAB, Cosylab, Computel in Adria Mobil. V okviru Tehnološke mreže ICT oziroma Kompetenčnega centra OPCOMM smo sodelovali in prenašali znanja v podjetja Alpineon, Špica International, Globtel, AMIS, Iskratel in Iskra Sistemi.

Pomembna dejavnost, ki smo jo uspešno opravljali v letih 2009 - 2014, je bila tudi vzgoja in izobraževanje mladih raziskovalcev. Člani skupine smo bili mentorji pri 8 doktoratih. Štirje mladi raziskovalci iz naše programske skupine so v tem obdobju doktorirali.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine³

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Rezultati raziskovalnega programa vključujejo vrsto inovativnih elementov, ki so pomembni tako za razvoj novih tehnologij kot tudi za razvoj znanosti na področju komunikacijskih omrežij in storitev, ki se v veliki meri nanašajo na brezžične telekomunikacijske sisteme. Rezultate raziskav v obdobju 2009-2014 smo objavili v 55 izvirnih znanstvenih člankih, od tega jih je 33 izšlo v mednarodnih revijah s faktorjem vpliva. Mednarodna strokovna javnost je bila seznanjena z našimi znanstvenimi dosežki tudi na predstavitvah v okviru mednarodnih konferenc. V zbornikih domačih, predvsem pa mednarodnih konferenc smo objavili 128 prispevkov. Imeli smo tudi 13 vabljenih predavanj na tujih univerzah. Med pomembne znanstvene dosežke nedvomno spadata tudi dva ameriška patenta s področja upravljanja in delovanja samo-organiziranih mobilnih omrežij ter knjižna objava pri založbi Wiley, ki obravnava problematiko širokopasovnih komunikacij preko stratosferskih ploščadi. Za doprinos k znanosti štejemo tudi prispevek k uveljavitvi nove raziskovalne metodologije na področju telekomunikacij, ki vključuje razvoj raziskovalnih prototipov in eksperimentalne raziskave, predvsem na področju brezžičnih senzorskih omrežij. O nadpovprečni odmevnosti naših znanstvenih rezultatov priča visoko število čistih WoS/Scopus citatov, ki znaša za obdobje 2009-2014 517 enot.

Na področju raziskav učinkovitega in zanesljivega radijskega vmesnika smo prispevali k razvoju metodologije in postopkov medplastnega načrtovanja protokolnega sklada v brezžičnih komunikacijskih sistemih s poudarkom na adaptivnem prilagajanju spreminjajočim se razmeram na radijskem kanalu in zahtevam po kakovosti storitve. Razviti postopki so neposredno uporabni v brezžičnih in mobilnih omrežjih naslednje generacije.

Postopki medplastnega načrtovanja so bili zajeti tudi v raziskavah na področju kognitivnih radijskih omrežij, ki predstavljajo razmeroma nov koncept upravljanja z radijskim spektrom in omrežjem ter omogočajo zmanjševanje odvisnosti od človeškega posredovanja.

Do pomembnih znanstvenih dosežkov smo prišli tudi pri načrtovanju brezžičnih širokopasovnih komunikacijskih sistemov, kjer smo se ukvarjali s snovanjem novih adaptivnih kodnih in modulacijskih postopkov, ki upoštevajo stanje radijskega kanala in omogočajo prenos s

spremenljivo bitno hitrostjo. Iznašli smo tudi vrsto novih iterativnih postopkov dekodiranja v več-antenskih sistemih.

Na podlagi novih spoznanj smo zasnovali nove oziroma prilagodili obstoječe napredne postopke obdelave signalov in podatkov, ki izkoriščajo porazdeljene računske zmogljivosti in omejene vire energije ter se lahko prilagajajo prometnim razmeram in zahtevam aplikacij, storitev in uporabnikov.

ANG

The proposed program includes a number of innovative elements that are important for the development of science and technologies in the field of communication networks and services, and is mainly dedicated to wireless communication systems. In the period 2009-2014 members of the programme team published 55 scientific articles, 33 of these in international journals with an impact factor. Research achievements were also presented at international conferences, 128 papers have been published in the proceedings of national and international conferences. We have given 13 invited lectures at foreign universities. Important research achievements of the reporting period are two patents granted by the USPTO and the scientific monograph issued at a prominent international publisher Wiley. The patents are addressing the management and operation of self-organizing networks, while the book provides state of the art overview in high-altitude platforms enabling broadband communications technologies. The research results contributed also to a broader recognition of the research methodology that includes research prototyping and experimentally driven research in the area of wireless sensor networks. Quality of our research results is also reflected in high number of WoS/Scopus citations which for the period 2009 – 2014 amounts to 517 units.

Research activities in the area of efficient and robust radio interface contributed to the development of methodology and procedures for cross-layer design of a protocol stack in wireless communication systems with the emphasis on adapting to radio channel variations and QoS requirements. The proposed procedures are directly applicable to the next generation wireless and mobile networks.

Cross-layer design procedures were incorporated also in the research activities on cognitive radio networks, which represent relatively new concept for radio spectrum and network management and enable more autonomous network operation.

Important scientific achievements were also obtained in the area of wireless broadband communication systems, where we designed new adaptive coding and modulation techniques taking into account the state of radio channel and enabling variable bit-rate transmission. We also developed a series of new iterative decoding techniques in the area of multi-antenna systems.

Based on new insights we designed new and adapted existing advanced signal and data processing techniques, which make use of distributed computational capabilities and take into account limited energy resources, and are adapting to traffic conditions and requirements of the applications, services and users.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Telekomunikacije so pomemben del slovenske infrastrukture, od katere je odvisen naš socialni, ekonomski in tudi kulturni razvoj. Storitve kot so telemedicina, učenje na daljavo, nakupovanje na daljavo, delo na daljavo in podobno, izboljšujejo diagnosticiranje bolezni, širijo znanje, prihranjajo čas, izboljšujejo pogoje dela in dvigujejo kvaliteto življenja.

Pomemben del rezultatov raziskovalnega programa smo v obdobju 2009 - 2014 posredovali slovenskim podjetjem, s katerimi smo sodelovali.

Za potrebe Telekoma Slovenije smo razvili simulacijski model njihovega celotnega fiksnega omrežja, s katerim je mogoče ovrednotiti učinkovitost delovanja omrežja. Uporaben je tako pri načrtovanju omrežja kot pri uvajanju novih storitev. S pomočjo simulacijskega modela smo

analizirali vpliv uvajanja novih storitev IP televizije na obremenjenost dostopovnega omrežja.

Za potrebe Mobitela smo razvili programsko orodje GRASS-RaPlaT, ki je sestavljeno iz modulov za izračun in prikaz razširjanja radijskih valov v mobilnih komunikacijskih sistemih, ki vključuje statistične modele in modele radijskega kanala. Orodje je zgrajeno na osnovi metod kot so Okumura-Hata, Walfish-Ikegami in 9999 ter algoritmov sledenja radijskim žarkom. Module smo integrirali v odprtokodni geografsko informacijski sistem GRASS. Orodje je uporabno za načrtovanje in oceno delovanja mobilnih in fiksnih brezžičnih omrežij kot so GSM, UMTS, WiFi, WiMAX in LTE. Orodje je integrirano v Mobitelov programski paket za nadzor radijskih omrežij in je v vsakdanji rabi. Pripravili smo tudi uporabniku prijazno verzijo orodja GRASS-RaPlaT, ki je prosto dostopna s spletne strani IJS.

Za podjetje 4G Neuron smo razvili iterativni postopek in algoritem za določanje položaja vozlišča z uporabo metod sprejete signalne moči in časovne razlike med dvema sprejetima radijskima signaloma. S 4G Neuron smo sodelovali tudi pri razvoju algoritmov in protokolov za WiMAX piko bazno postajo s funkcionalnostjo povezovanja v zankasta omrežja. Obe rešitvi smo uspeli zaščititi pri ameriškem patentnem uradu.

V okviru Kompetenčnega centra OPCOMM smo sodelovali s podjetji Alpineon, Cosylab, Špica International, InovaIT, Telekom Slovenije in Iskratel pri zasnovi odprte komunikacijske platforme za razvoj novih storitev in aplikacij za internet stvari. Sodelovali smo pri načrtovanju komunikacijskega sistema, ki omogoča zbiranje različnih tipov podatkov iz senzorskih omrežij in zaznavanje njihovega konteksta. Za prenos do jedra platforme smo zasnovali ustrezne podatkovne vmesnike in komunikacijske protokole.

V sodelovanju z Občino Logatec in KP Logatec smo postavili odprto eksperimentalno senzorsko omrežje LOG-a-TEC, ki omogoča zaznavanje in analizo zasedenosti radijskega spektra v frekvenčnih področjih ISM in UHF in je zasnovano na podlagi na IJS razvite platforme za brezžična senzorska omrežja VESNA. LOG-a-TEC testno okolje je edino eksperimentalno omrežje, ki obratuje v realnem zunanjem okolju in je na voljo domačim in tujim raziskovalnim skupinam.

Sodelovali smo tudi v dveh tehnološko razvojnih projektih MGRT in sicer »Pametni avtodom« ter »Pametni dom«. V prvem projektu smo v sodelovanju s podjetjem Adria Mobil razvijali senzorske komunikacijske tehnologije za inteligentno oddaljeno upravljanje energetske učinkovitega avtodoma, v drugem projektu pa smo skupaj s podjetjem Cosylab razvijali senzorsko komunikacijske tehnologije za pametne zgradbe s poudarkom na nadzoru porabe in proizvodnje električne energije.

Več članov programske skupine je sodelovalo tudi v pedagoškem procesu na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana, kjer smo novo pridobljena znanja prenašali študentom in mladim raziskovalcem in s tem posredno industriji, kjer so ali bodo študenti zaposleni.

Z izvedenim raziskovalnim programom smo razširili znanja in izkušnje, ki koristijo tako domačemu kot evropskemu gospodarstvu pri učinkovitejši rabi obstoječih in razvoju novih komunikacijskih sistemov in storitev.

ANG

Telecommunications represent an important part of Slovenian infrastructure with a great influence to social, economic and cultural progress of the society. Services such as telemedicine, distance learning, teleworking, teleshopping, etc. improve diagnostics in medicine, broaden knowledge, reduce time consumption, improve working conditions and raise quality of life.

An important part of the research program for the period 2009 – 2014 was devoted to Slovenian companies with which we have cooperated.

For Telekom Slovenia we developed a simulation model of its entire fixed network aiming at network performance evaluation, which is useful both for the network design and optimisation as well as for the introduction of new services. With our simulation model we have analysed the

influence of introduction of new IP TV services on the performance of fixed access network.

For Slovenian national mobile operator Mobitel we developed a software tool GRASS-RaPlAT, which consists of modules for radio wave propagation, radio coverage calculation and presentation, and statistical analysis. The tool is based on methods such as Okumura-Hata, Walfish-Ikegami, 9999 and ray-tracing, which are integrated in an open-source GIS environment GRASS. It is suitable for radio network planning in various mobile and wireless networks including GSM, UMTS, WiFi, WiMAX and LTE. The tool is integrated in Mobitel's inhouse software suite for radio network monitoring and is used on a daily basis. We have also prepared a user-friendly version of GRASS-RaPlAT tool, which is openly accessible from the JSI website.

For the company 4G Neuron we developed a novel procedure and the algorithm for determining node location using received signal strength and time difference of arrival. We cooperated with 4G Neuron also in the design of new algorithms and protocols for WiMAX pico base station with mesh router functionality. Two US patents were granted at the USPTO for these procedure and algorithm.

Within the Competence Centre OPCOMM we cooperated with companies Alpineon, Cosylab, Špica International, InovaIT, Telekom Slovenije and Iskratel in the design of an open communication platform for the development of new services and applications for the Internet of Things. We participated in the design of a communication system that enables the collection of different types of data from sensor networks as well as their context information.

In collaboration with the Municipality of Logatec and Public Utilities Company Logatec we set up an open sensor network testbed LOG-a-TEC, which allows the detection and analysis of availability of radio spectrum in the ISM and UHF frequency bands and is based on the sensor platform VESNA also developed at JSI. The LOG-a-TEC testbed is the only experimental network for cognitive radio networking operating in the real outdoor environment, which is available for national and foreign research groups.

We participated to two technology development projects financed by MEDT, namely "Smart caravan" and "Smart home". In the first one, we were developing with Adria Mobil sensor and communication technologies for the intelligent remote management of energy efficient motorhomes. In the other project we were developing together with the company Cosylab the sensor and communication technologies for smart buildings, with an emphasis on monitoring generation and consumption of electric energy.

Several members of the program team were involved in teaching at the Jozef Stefan International Postgraduate School, so the newly acquired knowledge was also transferred to students and young researchers, and thus indirectly to the industry where they were or would be employed.

With the realisation of the research programme we broadened the knowledge and gained experience that is beneficial to national and European economy for the more efficient use of existing and development of new communication systems and services.

10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹¹

10.1. Diplome¹²

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	1
bolonjski program - II. stopnja	2
univerzitetni (stari) program	3

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
29521	Carolina Fortuna	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26025	Andrej Hrovat	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26452	Tine Celcer	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25645	Andrej Vilhar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0	Amir Ligata	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Rok Libnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Iosif Androulidakis	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
15745	Robert Blatnik	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	

Legenda:

- Mag.** - Znanstveni magisterij
Dr. - Doktorat znanosti
MR - mladi raziskovalec

11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju¹⁴

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
26452	Tine Celcer	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	

Legenda zaposlitev:

- A** - visokošolski in javni raziskovalni zavodi
B - gospodarstvo
C - javna uprava
D - družbene dejavnosti
E - tujina
F - drugo

12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca, v obdobju 1.1.2009-31.12.2014

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
32736	Marko Pesko	A - raziskovalec/strokovnjak	20	
0	Zoltan Padrah	C - študent - doktorand	27	
0	Maria Porcius	C - študent - doktorand	27	
0	Adnan Bekan	C - študent - doktorand	24	
0	Melisa Junuzović	C - študent - doktorand	12	
0	Arsim Kelmendi	C - študent - doktorand	12	
0	Venceslav Kafedžiski	B - uveljavljeni raziskovalec	5	
0	Amir Ligata	C - študent - doktorand	4	
0	Iosif Androulidakis	C - študent - doktorand	3	
0	Alexandre Echaliér	C - študent - doktorand	3	
0	Suciu Mihai-Alexandru	C - študent - doktorand	3	

0	Andrei Toma	C - študent - doktorand	3	
0	Ciprian Anton	C - študent - doktorand	3	
0	Camelia Marie Sarosi	C - študent - doktorand	3	
0	Bogdan Ivan	C - študent - doktorand	3	
0	Patricia Oniga	C - študent - doktorand	3	
0	Osman Musa	C - študent - doktorand	3	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

- A** - raziskovalec/strokovnjak iz podjetja
- B** - uveljavljeni raziskovalec iz tujine
- C** - študent - doktorand iz tujine
- D** - podoktorand iz tujine

13.Vključevanje v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹⁵

SLO

Člani programske skupine so bili v obdobju 2009 - 2014 vključeni v naslednje projekte okvirnega programa EU:

SatNEx II (FP6-IST-027393): "Satellite communications Network of Excellence";
Trajanje: 2006 - 2009; nosilec projekta na IJS: Gorazd Kandus

Idealist2011 (FP7-IST-2007-3-231367): "Trans-national cooperation among ICT National Contact Points";
Trajanje: 2008 - 2011; nosilec projekta na IJS: Mihael Mohorčič

ACTIVE (FP7-ICT-2007-3-215040): "Enabling the Knowledge Powered Enterprise";
Trajanje: 2008 - 2011; nosilec projekta na IJS: Mihael Mohorčič

AgroSense (FP7- REGPOT- 2007-3204472): "Wireless Sensor Networks and Remote Sensing Foundation of a modern agricultural infrastructure in the region";
Trajanje: 2008 - 2011; nosilec projekta na IJS: Gorazd Kandus

BalkanGEONet (FP7-ENV-2010-265176): "Balkan GEO Network - Towards Inclusion of Balkan Countries into Global Earth Observation Initiatives";
Trajanje: 2010 - 2013; nosilec projekta na IJS: Mihael Mohorčič

PlanetData (FP7-ICT-2009-5257641): "PlanetData"; Network of Excellence;
Trajanje: 2010 - 2014; nosilec projekta na IJS: Mihael Mohorčič

CREW (FP7-ICT-2009-5258301): "Cognitive Radio Experimentation World - Enlarged EU";
Trajanje: 2011 - 2015; nosilec projekta na IJS: Mihael Mohorčič

ABSOLUTE (FP7-ICT-2011-287804): "Aerial Base Stations with Opportunistic Links for Unexpected & Temporary Events";
Trajanje: 2012 - 2015; nosilec projekta na IJS: Mihael Mohorčič

CITI-SENSE (FP7-ENV-2012-308524): "Development of sensor based Citizens' Observatory Community for improving quality of life in cities";
Trajanje: 2012 - 2016; nosilec projekta na IJS: Mihael Mohorčič

SUNSEED (FP7-ICT-2013-619437): "Sustainable and robust networking for smart electricity distribution";
Trajanje: 2014 - 2017; nosilec projekta na IJS: Mihael Mohorčič

ProaSense (7FP-ICT-612329): " The Proactive Sensing Enterprise";
Trajanje: 2014 - 2016; nosilec projekta na IJS: Mihael Mohorčič

Fed4FIRE (7FP-ICT-318389): "Federation for FIRE";
Trajanje: 2014 - 2016; nosilec projekta na IJS: Mihael Mohorčič

Člani programske skupine so bili v obdobju 2009 - 2014 vključeni še v naslednje mednarodne projekte:

COST 297: "High Altitude Platforms For Communications And Other Services";
Trajanje: 2005 - 2009; koordinator projekta za Slovenijo: Aleš Švigelj

COST 2100: "Pervasive Mobile and Ambient Wireless Communications";
Trajanje: 2006 - 2010; koordinator projekta za Slovenijo: Tomaž Javornik

COST IC0802: "Propagation tools and data for integrated Telecommunication, Navigation and Earth Observation systems";
Trajanje: 2008 - 2012; koordinator projekta za Slovenijo: Gorazd Kandus

COST IC0902: "Cognitive Radio and Networking for Cooperative Coexistence of Heterogeneous Wireless Networks";
Trajanje: 2009 - 2013; koordinator projekta za Slovenijo: Mihael Mohorčič

COST IC0906: "Wireless Networking for Moving Objects";
Trajanje: 2010 - 2014; koordinator projekta za Slovenijo: Miha Smolnikar

COST IC1004: "Cooperative Radio Communications for Green Smart Environments";
Trajanje: 2011 - 2015; koordinator projekta za Slovenijo: Tomaž Javornik

COST IC1101: "Optical Wireless Communications An Emerging Technology";
Trajanje: 2011 - 2015; koordinator projekta za Slovenijo: Gorazd Kandus

COST IC1104: "Random Network Coding and Designs over GF(q)";
Trajanje: 2012 - 2016; koordinator projekta za Slovenijo: Aleš Švigelj

Bilateralni projekt Črna gora - Slovenija (BIME/01213015): "Napredne tehnologije za mobilne širokopasovne komunikacijske sisteme naslednje generacije",
Trajanje: 2012 - 2013; nosilec projekta v Sloveniji: Tomaž Javornik

ESA projekt SatProSi (PECS Arrangement No 4000104510/11/NL/KML): "Ka/Qband Propagation Measurements and Modelling for the Design of Prediction and Impairment Mitigation Techniques"
Trajanje: 2011 - 2014; nosilec projekta: Gorazd Kandus

ESA projekt SatProSi-Alpha (ESA Contract No 400111927/14/NL/NDe): "Ka/Qband Propagation Measurements and Modelling - Slovenian Contribution to the Alphasat TDP#5 Scientific Mission"
Trajanje: 2014 - 2016; nosilec projekta: Andrej Vilhar

14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v obdobju trajanja raziskovalnega programa (1.1.2009–31.12.2014) potekali izven financiranja ARRS¹⁶

SLO

Člani programske skupine so bili v obdobju 2009 - 2014 vključeni v naslednje domače projekte za uporabnike, ki jih ne financira ARRS:

Projekt TP MIR RMS ZIR: "Informacijsko komunikacijski sistem za vodenje in kontrolo pri izvajanju nujne pomoči",
Trajanje: 2007 - 2009; naročnik: Computel, vodja projekta na IJS: Gorazd Kandus

Projekt: "Zagotavljanje povezav za komunikacijske storitve v izrednih razmerah",
Trajanje: 2008 - 2009; vodja projekta: Mihael Mohorčič, naročnik: Telekom Slovenije

Projekt RIPJ09/68/45 - "4G piko bazna postaja",
Trajanje: 2009 - 2011; naročnik: 4G Neuron, Cosylab; vodja projekta na IJS: Tomaž Javornik

Projekt: "Analitska in senzorska podpora vpeljavi novih storitev",

Sklop A: Modeliranje in vizualizacija prenosnega omrežja,
Sklop B: Analiza vpliva vpeljave novih storitev in dodajanja nove opreme z oceno redundanc,
Sklop C: Napredna analitska podpora sistemu NOC,
Sklop D: Zasnova in pilotska postavitve testnega brezžičnega senzorskega omrežja,
Trajanje: 2011 - 2012; vodja projekta: Mihael Mohorčič, naročnik: Telekom Slovenije

Projekt: "Izdelava modulov za izračun in prikaz pokritja z radijskim signalom",
Trajanje: 2009 - 2013; vodja projekta: Tomaž Javornik; naročnik Mobitel / Telekom Slovenije

Projekt: "Tehnologije za izvedbo inteligentnega avtodoma naslednje generacije",
Trajanje: 2013 - 2015; vodja projekta na IJS: Mihael Mohorčič; naročnik: Adria Mobil

Projekt: "Študija propagacije in topologij za brezžična senzorska omrežja v nelicenciranih frekvenčnih pasovih",
Trajanje: 2013 - 2015; vodja projekta: Mihael Mohorčič; naročnik: Cosylab

Razvojno-raziskovalni projekt v okviru Kompetenčnega centra: "Odprta komunikacijska platforma za integracijo storitev" KC OPCOMM:

Sodelovali smo v:

RR2: Storitve in upravljanje s stvarmi,

RR3: Odprta aplikacijska platforma za integracijo storitev,

RR4: Integracija prototipov in testiranje,

Trajanje: 2011 - 2013; vodja projekta na IJS: Mihael Mohorčič; Sodelujoče organizacije: Zavod TM ICT, Alpineon, Cosylab, Innova IT, IJS, Špica International, Globtel, UL FE, UL FRI, Iskratel, Telekom Slovenije; naročnik: MVŠZT

Projekt: "Uporaba metod strojnega učenja za samonastavljiva brezžična zankasta omrežja",
Trajanje: 2013 - 2015; vodja projekta: Carolina Fortuna; naročnik: MISZ

Projekt: "e-Storitve: Opazuj, sklepaj, ukrepaj",
Trajanje: 2014 - 2015; vodja projekta: Mihael Mohorčič; naročnik: MISZ

Tomaž Javornik je bil s strani AKOS (Agencija za komunikacijska omrežja in storitve RS) imenovan za člana skupine neodvisnih ekspertov v projektu o uporabi RF spektra za storitve elektronskih komunikacij, kjer je bil primarno zadolžen za rešitve pokrivanja belih lis (njihovo določitev in možnosti souporabe spektra), povezave med baznimi postajami in souporabo infrastrukture.

15. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov raziskovalnega programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi (točka ni namenjena raziskovalnim programom s področij humanističnih ved)¹⁷

SLO

V okviru raziskovalnega programa je bil glavni poudarek namenjen temeljnim raziskavam na nivoju tehnološke zrelosti TRL1 in njihovi analitični, numerični ali eksperimentalni potrditvi na nivoju TRL2. Vrsto osnovnih spoznanj in rezultatov smo v različnih aplikativnih in razvojnih projektih privedli do nivojev med TRL5 in TRL7, kjer že predstavljajo prototipe izdelkov, ki imajo praktično vrednost in možnosti, da se ob ustreznih postopkih produktivizacije in komercializacije uveljavijo na domačem ali tujem trgu na naslednjih področjih:

1) Sprejem satelitskih signalov

Zgradili smo satelitsko postajo, ki temelji na SDR tehnologiji. GNU Radio in USRP platformo smo uporabili za razvoj aplikacije. Več prototipov sprejemnika se uporablja za dolgotrajno spremljanje satelitskega signala in karakterizacijo propagacijskega kanala v Ku frekvenčnem pasu. Sprejemnik odlikuje visoka zmogljivost, zanesljivost in nizka cena. Tehnološko zrelost ocenjujemo med TRL5 in TRL6. ESA se zanima za proizvodnjo več takih izdelkov. Proizvodna cena prototipa je nekaj tisoč EUR medtem ko je cena funkcionalno primerljivega produkta na trgu nekaj 10 tisoč EUR.

2) Razširjanje in modeliranje radijskega kanala

Razvili smo odprtokodno programsko orodje GRASS-RaPlaT za izračun slabljenja poti in razširjanja radijskih valov v mobilnih komunikacijskih sistemih. Z njim lahko izračunavamo in izrisujemo pokritje z radijskim signalom v frekvenčnem območju od 30 MHz do 3 GHz. Mobitel uporablja RaPlaT pri vsakdanjem delu, občasno pa ga za izračun pokritosti v omrežjih

slovenskih operaterjev uporablja tudi AKOS. Izdelek je razvit kot modul do nivoja TRL6/7, naročnik pa ga je vključil v svoje programsko okolje (TRL9).

3) Eksperimentalno senzorsko okolje

Za potrebe različnih uporabnikov smo postavili eksperimentalno senzorsko okolje LOG-a-TEC, ki obratuje v realnem delovnem okolju. Njegovo tehnološko zrelost ocenjujemo med TRL6 in TRL7. Omrežje glede na zahteve različnih uporabnikov funkcionalno in geografsko dopolnjujemo in širimo.

4) Senzorski sistemi in pametna omrežja

Kot osnovo raziskavam na področju senzorskih tehnologij smo razvili platformo VESNA, katere tehnološka zrelost je ocenjena na TRL6, potencialno tržno vrednost in višji nivo tehnološke zrelosti (do TRL7) pa dobi s prilagoditvijo za potrebe posameznih aplikacij.

Primeri uporabe senzorske platforme VESNA, pri čemer izbor in tip senzorjev v največji meri določa cena produkta:

- V projektu 7OP CREW smo na infrastrukturi javne razsvetljave v Logatcu postavili več kot 50 senzorskih vozlišč za meritve zasedenosti radijskega spektra, ki so prek brezžičnega omrežja ZigBee povezana v Internet in nadzorno-kontrolno aplikacijo.

- V KC OPCOMM smo platformo VESNA uporabili za nadzor mikro-klimatskih razmer, obratovanja opreme in prisotnosti vzdrževalnega osebja.

- V projektu 7OP CITI-SENSE smo na platformi VESNA zasnovali prenosno brezžično senzorsko enoto za nadzor kakovosti zraka, ki je opremljena s senzorji za različne pline, klimatske parametre in trdne delce v zraku.

16. Ocenite, ali bi doseženi rezultati v okviru programa lahko vodili do ustanovitve spin-off podjetja, kolikšen finančni vložek bi zahteval ta korak ter kakšno infrastrukturo in opremo bi potrebovali

možnost ustanovitve spin-off podjetja	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
potrebni finančni vložek	55.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme ¹⁸	prostori, - srednje zmogljiv strežnik, - dostop do storitev računalništva v oblaku, - razvojna in testna oprema (spektralni analizator, sciloskop, signalni generator, ...)

17. Izjemni dosežek v letu 2014¹⁹

17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Dosežek 1: Model radijskega kanala za tunele in podzemne koridorje

Vir: HROVAT, Andrej, KANDUS, Gorazd, JAVORNIK, Tomaž. A survey of radio propagation modeling for tunnels. IEEE Communications surveys and tutorials, 2014, vol. 16, no. 2, str. 658-669, kategorija: 1A1 (Z, A'', A', A1/2); faktor vpliva: 6.49, točke: 208.74, št. avtorjev: 3/3

V članku, ki smo ga objavili v reviji najvišjega razreda, smo raziskali najpomembnejše pristope k modeliranju razširjanja signala v cestnih in železniških predorih ter v podzemnih koridorjih. Predstavili smo tudi nov izviren empirični model razširjanja radijskega signala v tunelih. Z meritvami jakosti signala v železniških in cestnih predorih različnih oblik in dolžin smo dokazali natančnost in uporabnost našega modela kanala za načrtovanje brezžičnih komunikacijskih sistemov kot so GSM, UMTS, WiFi, WiMAX in LTE.

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Dosežek 2: Eksperimentalno omrežje za zaznavanje in analizo zasedenosti radijskega spektra

Vir: J. Činkelj, M. Šterk, A. Bekan, M. Mohorčič, C. Fortuna, "Design trade-offs for the wireless

management networks of constrained device testbeds", Int. Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS 2014), Barcelona, Spain.

Testno senzorsko omrežje LOG-a-TEC za izvajanje eksperimentov s področja kognitivnega radia in kognitivnih omrežij smo razširili z novo zasnovano enoto VESNA SNE-ESHTER in ga nadgradili z modificiranim operacijskim sistemom Contiki, ki omogoča sočasno uporabo dveh protokolnih skladov, enega za upravljanje in drugega za izvajanje eksperimentov. Eksperimentalno omrežje LOG-a-TEC smo tudi vključili v 7.OP projekt Fed4FIRE in ga preko evropske iniciative FIRE/FIRE+ naredili dostopnega domačim in tujim raziskovalnim skupinam.

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 in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS;
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v papirnati obliki;
- so z vsebino poročila seznanjeni in se strinjajo vsi izvajalci raziskovalnega programa.

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
matične RO (JRO in/ali RO s
koncesijo):*

in

vodja raziskovalnega programa:

Institut "Jožef Stefan"

Gorazd Kandus

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

16.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/73

¹ Napišite povzetek raziskovalnega programa v slovenskem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11) in angleškem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, v katerem predstavite raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega programa in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. V primeru odobrenega povečanja obsega financiranja raziskovalnega programa v letu 2014 mora poročilo o realizaciji programa dela zajemati predložen program dela ob prijavi in predložen dopolnjen program dela v letu 2014. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa dela raziskovalnega programa, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega programa oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v zadnjem letu izvajanja raziskovalnega programa, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, navedite: "Ni bilo sprememb.". Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja programa 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](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Družbeno-ekonomski dosežek iz obdobja izvajanja programa 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 programa ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki (približno 1/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://www.sicris.si/> za posamezen program, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

¹¹ Upoštevajo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1.1.2009–31.12.2014), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)

¹² Vpišite število opravljenih diplom v času izvajanja raziskovalnega programa glede na vrsto usposabljanja. [Nazaj](#)

¹³ Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času izvajanja raziskovalnega programa pridobila naziv magister znanosti in/ali doktor znanosti ter označite doseženo izobrazbo. V primeru, da se je oseba usposabljala po programu Mladi raziskovalci, označite "MR". [Nazaj](#)

¹⁴ Za mlade raziskovalce, ki ste jih navedli v tabeli 11.2. točke (usposabljanje so uspešno zaključili v obdobju od 1.1.2009 do 31.12.2014), izberite oz. označite, kje so se zaposlili po zaključenem usposabljanju. [Nazaj](#)

¹⁵ Navedite naslove projektov in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁶ Navedite naslove projektov, ki ne sodijo v okvir financiranja ARRS (npr: industrijski projekti, projekti za druge naročnike, državno upravo, občine idr.) in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁷ Opišite možnosti za uporabo rezultatov v praksi. Opišite izdelke oziroma tehnologijo in potencialne trge oziroma tržne niše, v katere sodijo. Ocenite dodano vrednost izdelkov, katerih osnova je znanje, razvito v okviru programa oziroma dodano vrednost na zaposlenega, če jo je mogoče oceniti (npr. v primerih, ko je rezultat izboljšava obstoječih tehnologij oziroma izdelkov). Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁸ Največ 1.000 znakov vključno s presledki (približno 1/6 strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

¹⁹ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki, velikost pisave 11). 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-RPROG-ZP/2015 v1.00b
99-A4-AC-08-ED-72-2D-AC-E3-F7-A8-F2-0E-3A-2D-4B-1B-54-CC-FF

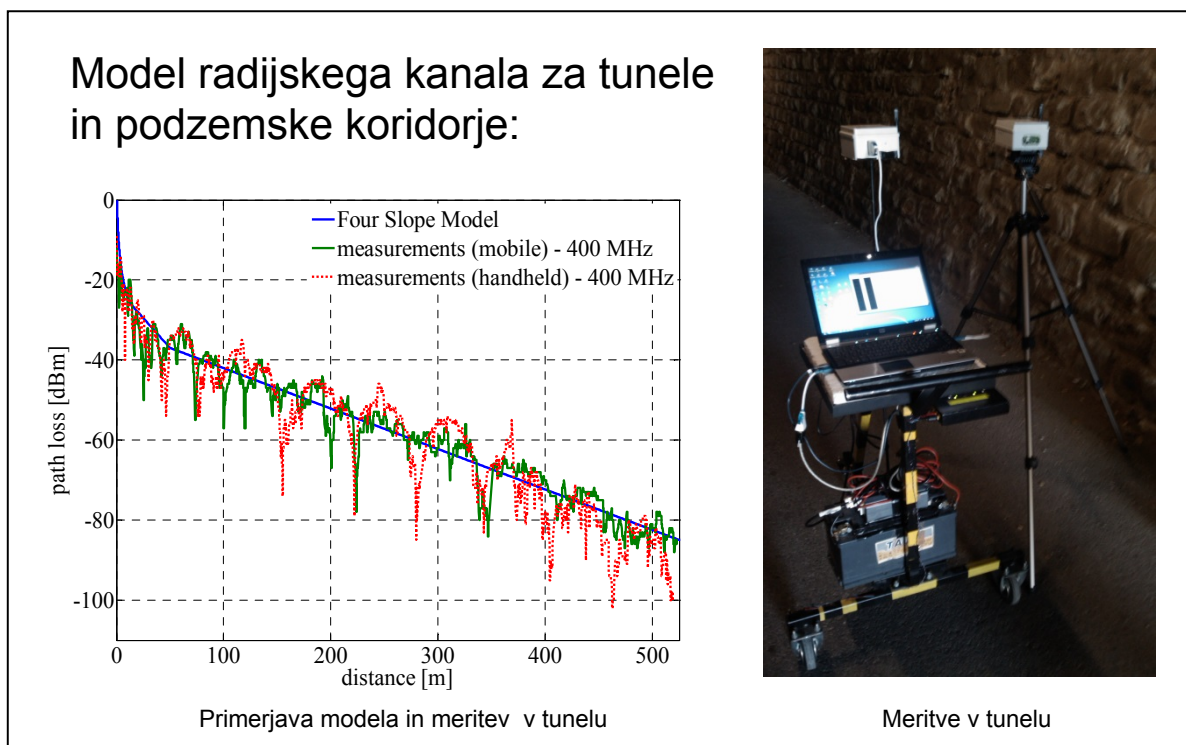
Priloga 1

TEHNIKA

Področje: 2.08 – Telekomunikacije

Dosežek 1: Model radijskega kanala za tunele in podzemne koridorje

Vir: Andrej Hrovat, Gorazd Kandus, Tomaž Javornik: A survey of radio propagation modeling for tunnels. IEEE Communications surveys and tutorials, 2014, vol. 16, no. 2, str. 658-669, kategorija: 1A1 (Z1, A", A', A1/2). faktor vpliva: 6.49, točke: 192.19



Raziskali smo najpomembnejše pristope k modeliranju razširjanja signala v cestnih in železniških predorih ter v podzemnih koridorjih.

Upoštevali smo numerične metode za reševanje Maxwellovih enačb, valovodni ali modalni pristop, metodo sledenja žarku in dvonaklonsko metodo modeliranja izgube poti. Pristope smo ocenili s stališča kompleksnosti modeliranja in zahtevane informacije o okolju, vključno z geometrijo predora in električnimi ter magnetnimi lastnostmi sten.

V prispevku smo predstavili tudi nov izviren empirični model razširjanja radijskega signala, ki je uporaben za izračun izgube poti v frekvenčnem pasu od 300 MHz do 3 GHz, ki zajema vse pomembne komercialne brezžične komunikacijske sisteme, kot so GSM, UMTS, WiFi, WiMAX in LTE.

Model smo razvili na podlagi meritev jakosti signala v cestnih in železniških predorih različnih oblik in dimenzij. Ovrednotenje simulacijskega modela smo izvedli s pomočjo meritev, ki smo jih izvedli v realnem okolju.

Priloga 2

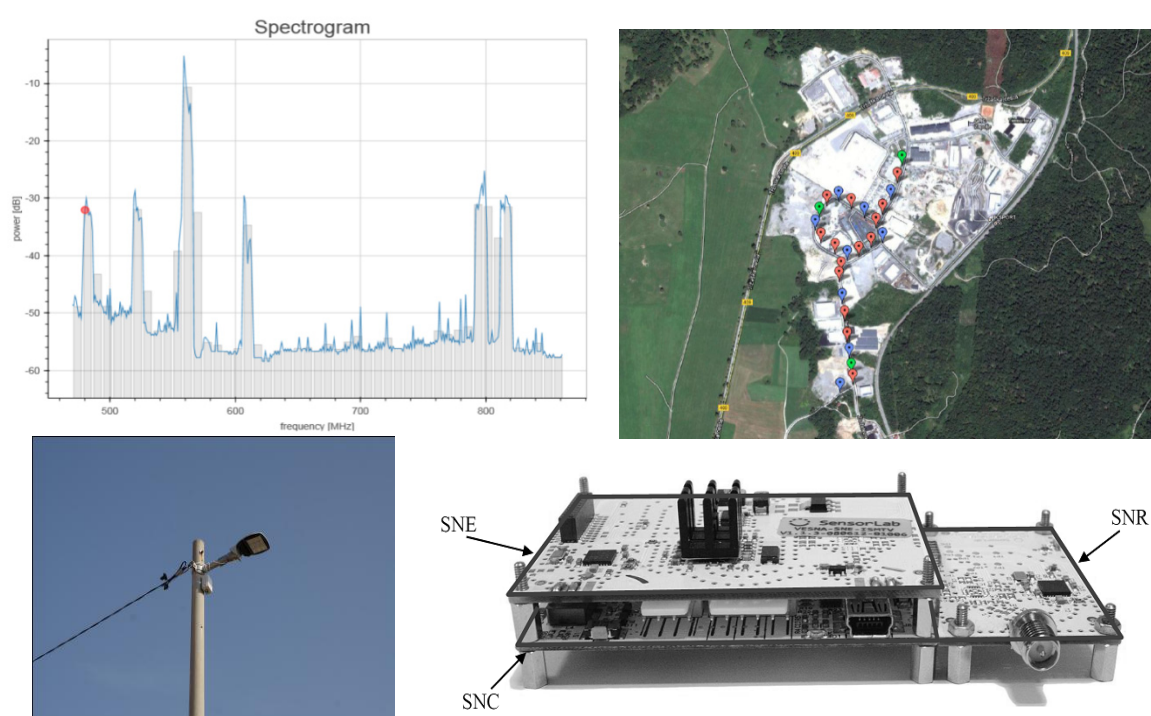
TEHNIKA

Področje: 2.08 – Telekomunikacije

Dosežek 2: Eksperimentalno omrežje za zaznavanje in analizo zasedenosti radijskega spektra

Vir: J. Činkelj, M. Šterk, A. Bekan, M. Mohorčič, C. Fortuna, "Design trade-offs for the wireless management networks of constrained device testbeds", Int. Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS 2014), Barcelona, Spain.

Razširitev in nadgradnja eksperimentalnega senzorskega omrežja LOG-a-TEC:



Testno senzorsko omrežje LOG-a-TEC za izvajanje eksperimentov s področja kognitivnega radia in kognitivnih omrežij v 7.OP projektu CREW smo razširili z novo zasnovano enoto VESNA SNE-ESHTER. Ta omogoča napredno zaznavanje zasedenosti spektra v UHF področju na podlagi kovariančnih metod, s čimer dosegamo bistveno boljšo občutljivost in s tem zanesljivost ugotavljanja nezasedenih delov radijskega spektra kot z enostavno detekcijo energije signalov. Testno omrežje smo tudi nadgradili z modificiranim operacijskim sistemom Contiki, ki omogoča sočasno uporabo dveh protokolnih skladov, enega za brezžično omrežje za upravljanje in drugega za izvajanje eksperimentov na področju kognitivnih radijskih omrežij s sestavljanjem in optimizacijo protokolnega sklada med samim delovanjem. Nadgrajeno testno omrežje LOG-a-TEC je postalo tudi ena izmed eksperimentalnih infrastruktur 7.OP projekta Fed4FIRE in s tem evropske iniciative FIRE/FIRE+ ter je na voljo domačim in tujim raziskovalnim skupinam.