

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2011-1/124

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-1109
Naslov projekta	Več-antenski sistemi za mobilnim WiMAX
Vodja projekta	5209 Gorazd Kandus
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4.650
Cenovni razred	C
Trajanje projekta	02.2008 - 01.2011
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Družbeno-ekonomski cilj	

1.1. Družbeno-ekonomski cilj¹

Šifra	04.
Naziv	Prevoz, telekomunikacije in druga infrastruktura

2. Sofinancerji²

1.	Naziv	Telekom Slovenije d.d.
	Naslov	Cigaletova 15, 1000 Ljubljana
2.	Naziv	Telsima d.o.o.
	Naslov	Motnica 9, 1236 Trzin
3.	Naziv	
	Naslov	

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta³

Raziskave projekta več-antenskih sistemov za mobilni WiMAX so obsegale snovanje in analizo novih postopkov za digitalno obdelavo in detekcijo signalov v mobilnih WiMAX sistemih ter razvoj simulacijskega modela za razširjanje radijskega signala in za oceno delovanja sistema WiMAX.

V okviru projekta smo zajeli tudi raziskave arhitekturne zasnove in konceptov delovanja za postavitev sistema pico baznih postaj WiMAX s podrobnejšo analizo funkcionalnih zahtev. Podali smo podrobno analizo sodobnih povezovalnih pristopov in njihove uporabe v sistemu pico baznih postaj WiMAX s poudarkom na tehnologijah, usmerjevalnih algoritmih in protokolih zankastih omrežij ter mehanizmih za avtomatsko nastavitev vozlišč in uporabniške opreme.

Da bi proučili in zasnovali sistem pico baznih postaj WiMAX za primere urbanih in ruralnih področij smo izvedli raziskave delovanja algoritmov, funkcionalnosti in protokolov za posamezne implementacijske scenarije s pomočjo sodobnih simulacijskih orodij. V okviru tega smo definirani in izdelani modele izbranih kritičnih algoritmov in protokolov, zasnovali simulacijski model ter izvedli analizo optimalnosti parametrov funkcionalne zasnove sistema WiMAX.

Izvedli smo raziskavo obstoječih odprtokodnih programskih modulov in strojnih komponent s poudarkom na možnosti njihove uporabe v sistemu WiMAX. Poleg raziskave implementacije namenske programske opreme smo preučili tudi možnost implementacije naprednih sistemov in konceptualnih rešitev za omrežno upravljanje za potrebe nadzora delovanja bazne postaje z ustreznim alarmiranjem in integriranimi funkcionalnostmi za njihovo geografsko lociranje.

Pri preverjanju ugotovitev rezultatov raziskav ter simulacijskih modelov smo vključili v projekt tudi izvedbo testiranj v okviru testnega laboratorijskega sistema z namenom vrednotenja predvidenih generičnih mehanizmov, algoritmov in funkcionalnosti pico bazne postaje WiMAX. Ocenili smo primernost funkcionalne in tehnološke zasnove pico bazne postaje WiMAX kot avtonomne in generične rešitve ter v navezavi na scenarije povezovanja z uporabniškimi postajami WiMAX različnih proizvajalcev.

Izvedli smo tehnološko-funkcionalno raziskavo zasnove pico bazne postaje WiMAX, ki rešuje zahteve za performančne in kakovostne zmogljivosti mobilnega sistema z vidika cenovne učinkovitosti, minimizacije izhodne moči in učinkovite implementacije hrbteničnega povezovanja.

Ukvarjali smo se tudi z modeliranjem in simulacijo radijskega kanala in s postopki za izračun pokritosti z radijskim signalom WiMAX. Pri izgradnji simulacijskega modela smo upoštevali različne motnje, ki nastajajo pri razširjanju radijskih valov. Upoštevali smo predvsem konfiguracijo terena na podežlju in gostoto in velikosti stavb na mestnem področju.

Teoretični del raziskav je obsegal področje radijskega prenosa v večantenskih MIMO sistemih, ki so uporabni tudi za mobilni WiMAX.

Raziskovali smo napredne in inovativne koncepte ter tehnologije, ki omogočajo medsebojno povezovanje ter zlivanje in mobilnost omrežij. Preučevali smo predvsem rešitve, ki zagotavljajo robustnost in varnost komunikacijskih sistemov ter omogočajo uvajanje kakovostnih storitev. Ugotovili smo, da implementacija sodobnih več-antenskih postopkov izboljša delovanja sistema, ki se kaže predvsem v večji zmogljivosti, manjšem številu potrebnih baznih postaj ter v večji frekvenčni in močnostni učinkovitosti sistema.

Iskali smo nove, učinkovite adaptivne modulacijske in kodne postopke ter proučevali sinhronizacijske in izenačevalne postopke ter postopke za oceno kakovosti radijskega kanala. Predlagali smo tudi nove postopke za izbiro kodno-modulacijskih shem na

podlagi informacij iz dekodirnika. Razvili smo nov učinkovit iterativni postopek za dekodiranje sprejetega MIMO signala. Posebno pozornost smo posvetili iskanju adaptivnih postopkov prostorsko-časovnega kodiranja in multipleksiranja v več-antenskih brezžičnih sistemih MIMO, ter razširitvi tega koncepta v smeri navideznih oziroma sodelujočih sistemov MIMO. Preučevali smo metode prostorsko raznolikega oddajanja radijskega signala, katerih namen je povečanje zanesljivosti pravilnega sprejema radijskega signala ali skupne kapacitete sistema. Učinkovitost novih postopkov in algoritmov smo ovrednotili s pomočjo simulacijskih orodij za razvoj, analizo in testiranje telekomunikacijskih sistemov. Pri simulacijah sistema oziroma omrežja WiMAX smo uporabljali MATLAB za fizično in povezavno plast in OPNET za omrežno plast.

Za potrebe raziskovalnega projekta smo s pomočjo simulacijskega orodja OPNET Modeler testirali in ocenjevali funkcionalnost in učinkovitost sistema WiMAX ter analizirali njegove parametre kot so izgube, zakasnitve in tresenje. V IP hrbteničnem omrežju smo implementirali generične usmerjevalnike s statičnimi, ročno nastavljivimi usmerjevalnimi tabelami in poljubnimi medsebojnimi povezavami, ki so lahko poljubne kapacitete.

Za potrebe sofinancerja Telsima d.o.o. smo v okviru razvoja pico bazne postaje za mobilni sistem WiMAX izdelali tri študije:

- Ocena prepustnosti omrežja mobilni WiMAX v idealnih pogojih,
- Vpliv tipa razvrščanja in različnih prometnih parametrov na prepustnost v IEEE 802.16e-2005 okolju,
- Študija predaje ter ARQ in HARQ zahtev v IEEE 802.16e-2005 okolju.

Za potrebe drugega sofinancerja Telekoma Slovenije pa smo razvili simulacijski model za analizo zmogljivosti telekomunikacijskega omrežja, ki se je izkazal za koristnega pri uvajanju novih storitev v omrežje Telekoma Slovenije. Izdelali smo študijo »Zagotavljanje povezav za komunikacijske storitve v posebnih razmerah«, v kateri so navedeni tudi rezultati poskusov, ki se nanašajo na meritve pokritja z WiMAX signalom. Pri poskusu smo uporabili pico bazne postaje za mobilni WiMAX, ki jih je razvila Telsima d.o.o.

V prispevku »Traffic and QoS management in wireless multimedia networks« smo v končnem poročilu projekta COST 290, ki je izšel pri založbi Springer, predstavili naše simulacijske rezultate prometa v WiMAX omrežju.

4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

V predlogu raziskovalnega projekta »Več-antenski sistemi za mobilni WiMAX« smo v planu raziskav predvideli štiri glavne naloge, ki so:

Naloga 1: Ocena zmogljivosti povezave v več-antenskih sistemih WiMAX

Naloga 2: Vpliv več-antenskih postopkov na velikost celice v mobilnih omrežjih WiMAX

Naloga 3: Vpliv več-antenskih postopkov na kapaciteto celice v mobilnih omrežjih WiMAX

Naloga 4: Ocena zmogljivosti povezave pri uporabi nestandardnih algoritmov v več-antenskih sistemih WiMAX

Ugotovimo lahko, da je bil predlagani plan dela v celoti realiziran.

Poleg tega smo za potrebe sofinancerja Telsima d.o.o. izdelali oceno prepustnosti omrežja mobilni WiMAX ob upoštevanju različnih parametrov omrežja, za potrebe sofinancerja Telekom Slovenije d.d. pa smo razvili simulacijski model, ki je uporaben pri analizi uvajanja novih storitev ter izdelali študijo pokritja in izvedli meritve WiMAX signala na terenu.

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

Glede na to, da je realizacija raziskovalnega projekta potekala po predvidenem načrtu, spremembe programa niso potrebne.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni rezultat			
1.	Naslov	SLO	Več antenski postopki v sistemih WiMAX
		ANG	Multiple antenna techniques in WiMAX systems
	Opis	SLO	V članku je narejen pregled možnosti uporabe tehnik prenosa podatkov z uporabo več anten tako na oddajni kot na sprejemni strani ter podana ocena uporabe časovno prostorskega kodiranja v fiksni omrežjih WiMAX, ki je izvedena s pomočjo obsežnih terenskih meritev.
		ANG	In the paper the overview of different possible transmission techniques is given, using multiple antennas both on the transmitter as well as on the receiver side. The evaluation of time-space coding schemes in fixed WiMAX networks is given and supported by great amount of measurement data.
	Objavljeno v		CELCER, Tine, PLEVEL, Srečo, JAVORNIK, Tomaž, FORTUNA, Carolina, KANDUS, Gorazd. Multiple antenna techniques in WiMAX systems. Elektroteh. vestn., 2008, vol. 75, no. 1, str. 24-30.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		21774119
2.	Naslov	SLO	MIMO v brezžičnih komunikacijah: Enciklopedija brezžičnih in mobilnih komunikacij
		ANG	MIMO in wireless communications: Encyclopedia of wireless and mobile communications
	Opis	SLO	V prispevku je narejen pregled več vhodnih več izhodnih sistemov na področju brezžičnih komunikacij, ki vključujejo tudi sisteme WiMAX. Podan je tudi pregled metod prenosa in detekcije signala, standardov, tehnoloških rešitev in bodočega razvoja.
		ANG	The overview of multiple input multiple output systems in the field of wireless communications, including WiMAX system, is given in the article. Besides that, the overview of signal transmission and detection methods, standards, technological solutions and future development trends is given as well.
	Objavljeno v		PLEVEL, Srečo, TOMAŽIČ, Sašo, JAVORNIK, Tomaž, KANDUS, Gorazd. MIMO in wireless communications. V: FURHT, Borivoje (ur.). Encyclopedia of wireless and mobile communications. Boca Raton; New York: Taylor & Francis Group: Auerbach Publications, cop. 2008, vol. 1, str. 604-612.
	Tipologija		1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
	COBISS.SI-ID		6447444
3.	Naslov	SLO	Prilagodljivi MIMO detektor
		ANG	Adaptive MIMO detector
	Opis	SLO	V članku smo predstavili nov prilagodljiv detektor z mehkim vhodom in mehkim izhodom za brezžične MIMO sisteme, ki deluje na osnovi vsiljenega ničanja in maksimalne verjetnosti. Z računalniškimi simulacijami smo ugotovili, da se računska kompleksnost novega algoritma zmanjša za 90%, pri tem da se zmogljivost sistema poslabša le za manj kot 1dB v primerjavi s klasičnim algoritmom največje verjetnosti.
		ANG	An adaptive zero forcing maximum likelihood soft input soft output detector for wireless MIMO systems is presented in the paper. It is shown by computer simulations that the computational complexity of new algorithm is reduced by 90% while the system performance degrades only by less than 1dB in comparison to the ML detector.

	Objavljeno v		JELOVČAN, Igor, KANDUS, Gorazd, JAVORNIK, Tomaž. An adaptive zero forcing maximum likelihood soft input soft output MIMO detector. IEICE transactions on communications, 2009, vol. E92-B, no. 2, pp. 507-515, JCR IF (2008): 0.427, SE (44/67).
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		22401319
4.	Naslov	SLO	Upravljanje prometa in kakovosti storitev v brezžičnih omrežjih
		ANG	Traffic and QoS management in wireless networks
	Opis	SLO	V prispevku smo analizirali prometne in QoS zahteve pri uvajanju storitev v širokopasovna brezžična dostopovna omrežja. Upoštevali smo klasične govorne, video in podatkovne storitve, kot tudi večpredstavnostne storitve kot so telemedicina, videokonferenca, oddaljeno zaznavanje, delo na daljavo, zbiranje novic, radiodifuzija, itd.
		ANG	We analyzed traffic and QoS requirements in broadband wireless access networks. We considered basic voice, video and data services as well as multimedia services such as telemedicine, videoconference, remote sensing, teleworking, news gathering, broadcasting, etc.
	Objavljeno v		BRAUN, Torsten, KANDUS, Gorazd, MOHORČIČ, Mihael. Services, optimization, and economic aspects. V: KOUCHERYAVY, Yevgeni (ur.). Traffic and QoS management in wireless multimedia networks : COST 290 final report, (Lecture notes in electrical engineering, vol. 31). New York: Springer, 2009, str. 267-304.
	Tipologija		1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
	COBISS.SI-ID		22714407
5.	Naslov	SLO	Ocena zmogljivosti pico bazne postaje v omrežju WiMAX
		ANG	Performance evaluation of pico base station in WiMAX network
	Opis	SLO	Članek opisuje načrtovanje in simulacijski model WiMAX pico bazne postaje, ki temelji na IEEE802.16e standardu. Ocenjena je tudi zmogljivosti bazne postaje v večskokovnih relejnih omrežjih. Rešitev odpira za predlagano bazno postajo možnost vključitve v zankasto omrežje.
		ANG	Paper proposes a new network design and a simulation model for the WiMAX pico base station based on IEEE 802.16e standard. It evaluates also the base station performance in a mutihop-relay networks. The solution opens a possibility for the proposed base station to be an element of mesh networks.
	Objavljeno v		ALIČ, Kemal, ŠVIGELJ, Aleš, JAVORNIK, Tomaž. System performance evaluation of the IEEE 802.16e pico-base station in multihop-relay and mesh networks. WSEAS trans. commun., 2010, vol. 9, no. 10, str. 615-625.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		23943975

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine⁶

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat			
1.	Naslov	SLO	Analiza potrebnega števila vozlišč v municipalnem zankastem omrežju WiFi
		ANG	Analysis of required number of nodes in the metropolitanian mesh WiFi network
	Opis	SLO	V okviru študije smo opravili enostavno analizo potrebnega števila vozlišč oziroma dostopovnih točk in zankastih usmerjevalnikov za postavitve municipalnega brezžičnega omrežja na primeru Ljubljane ob predpostavki postavitve dostopovnih točk na oziroma ob postajah mestnega potniškega prometa.
		ANG	In the elaborate, a simplified analysis of required number of nodes, access points and mesh routers is made in order to develop a metropolitan wireless network is made for the case of Ljubljana. The access points will be placed near the local public transportation stations.
	Šifra		F.01 Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin
		MOHORČIČ, Mihael, JAVORNIK, Tomaž, HROVAT, Andrej, KANDUS, Gorazd,	

	Objavljeno v	ŠVIGELJ, Aleš. Analiza potrebnega števila vozlišč v municipalnem zankastem WiFi omrežju, (IJS delovno poročilo, 10056). 2008.
	Tipologija	2.13 Elaborat, predštudija, študija
	COBISS.SI-ID	22166311
2.	Naslov	SLO Prilagodljivi usmerjevalni algoritem za večuporabniško MIMO navzgorjo povezavo s ZF sprejemniki in s QoS podporo
		ANG Adaptive scheduling algorithm for multiuser MIMO uplink with zero-forcing receivers and QoS support
	Opis	SLO V COST dokumentu je predstavljen nov adaptiven usmerjevalni algoritem za večuporabniške MIMO sisteme. V sprejemniku smo uporabili ZF algoritem in upoštevali kakovost storitev, kar doslej v literaturi še ni bilo objavljeno.
		ANG In the COST document a new adaptive scheduling algorithm for multiuser MIMO unlink with zero-forcing receivers and QoS support is presented. The improved scheduling algorithm gives better results with regard to up to now published results.
	Šifra	F.02 Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Objavljeno v	CELCER, Tine, JAVORNIK, Tomaž, KANDUS, Gorazd. Adaptive scheduling algorithm for multiuser MIMO unlink with zero-forcing receivers and QoS support, (European cooperation in the field of scientific and technical research, COST 2100 TD(09)719). 2008. 17 str.
	Tipologija	2.13 Elaborat, predštudija, študija
	COBISS.SI-ID	224266
3.	Naslov	SLO Razvoj modulov za izračunavanje radijskega pokritja v odprto-kodnem programskem okolju
		ANG Development of modules for calculation of radio coverage in an open-source environment
	Opis	SLO Načrtovanje celičnih radijskih telekomunikacijskih sistemov je kompleksen problem, ki se ga rešuje z matematičnimi modeli in z uporabo različnih programskih orodij. Odprto-kodno okolje GRASS omogoča prost razvoj in izboljšavo obstoječih matematičnih modelov kot tudi uporabo obstoječih modulov za obdelavo podatkov. Razvili smo nove module za izračun pokritja, ki temeljijo na matematičnih modelih, kot so Okumura-Hata, model 9999 itn. Dosežek je uporaben predvsem za načrtovanje mobilnih omrežij, kot so GSM, UMTS, WiMAX, itd.
		ANG Planning cellular radio telecommunication systems is a complex problem, solved by numerous mathematical models, using various program tools. An open-source system, such as GRASS, enables free development and improvement of existing mathematical models as well as usage of other modules for data processing. We developed new modules for coverage calculation, based on mathematical models such as Okumura-Hata, 9999 model etc. The achievements are useful above all for improved planning of GSM, UMTS and WiMAX networks.
	Šifra	F.06 Razvoj novega izdelka
	Objavljeno v	A. Vilhar, T. Javornik, M. Mohorčič, I. Saje, G. Kandus, Modeliranje radijskega pokritja v odprto-kodnem programskem okolju GRASS, zbornik Elektrotehniške in računalniške konference ERK, Portorož, Slovenija, september 2009.
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID	22934567
4.	Naslov	SLO Razvoj simulacijskega modela za analizo zmogljivosti telekomunikacijskega omrežja
		ANG Development of simulation model for performance analysis of telecommunication network
	Opis	SLO S pomočjo orodja OPNET Modeler Wireless Suite smo razvili simulacijski model za analizo zmogljivosti in optimizacijo brezžičnih protokolov v celičnih omrežjih. OPNET orodje smo uporabili zato, da smo testirali prepustnost Telekomovega dostopovnega omrežja v delu ljubljanskega območja. Pri testiranju smo generirali promet za različne vrste storitev, kot so http, P2P, IPTV in VoD.
		Using OPNET Modeler Wireless Suite tool we have developed a simulation model for performance analysis and wireless protocol optimisation in cellular

		ANG	networks. The, which we used, provides high fidelity modeling, simulation, and analysis of a broad range of wireless networks. We used OPNET tool to test the throughput of Telekom access network in the part of Ljubljana region, generating the traffic caused by http, P2P, IPTV and VoD services.
	Šifra	F.06	Razvoj novega izdelka
	Objavljeno v		ALIČ, Kemal, JAVORNIK, Tomaž. Ocena prepustnosti omrežja WiMAX v idealnih pogojih s simulacijskim okoljem OPNET, (IJS delovno poročilo, 10281). 2009.
	Tipologija	2.13	Elaborat, predštudija, študija
	COBISS.SI-ID	22829351	
5.	Naslov	SLO	Inovacije s področja samoorganizirajočih brezžičnih omrežij
		ANG	Inovations in the field of self-organizing wireless networks
	Opis	SLO	Pri ameriškem patentnem uradu US PTO smo prijavi dve inovaciji s področja nadzora in upravljanja samoorganizirajočega brezžičnega omrežja. Prva inovacija opisuje metodo, ki je sposobna samodejno prilagajati parametre nove bazne postaje spremembam okolja v celičnem omrežju, druga inovacija pa predstavlja iterativni postopek in algoritem za določanje položaja mobilne postaje z uporabo metod sprejete signalne moči in časovne razlike med dvema sprejetima radijskima signaloma. Obe inovaciji sta nastali v sodelovanju z 4G Neuron in LTFE v okviru V okviru projekta WiMAX pico bazna postaja.
		ANG	We have submitted to the US Patent and Trademark Office two patent applications related to management and control of self-organizing wireless networks. The first innovation describes the method with the capability to automatically adapt the base station parameter settings to the environment, while the second innovation determine an iterative procedure for the location of mobile station, based on the received signal strength and difference in time of arrival. Both innovations result from the cooperation with 4G Neuron and LTFE in the scope of the WiMAX pico base station project.
	Šifra	F.32	Mednarodni patent
	Objavljeno v		LIKAR, Bojan, POSEL, Robert, KALAGASIDIS, Andreas, JAVORNIK, Tomaž, KANDUS, Gorazd, MOHORČIČ, Mihael, ŠVIGELJ, Aleš, BEŠTER, Janez, KOS, Andrej, SMOLNIKAR, Miha. Iterative localization techniques : patentna prijava 12/825.048. US Patent and Trademark Office, 28. jun. 2010.
	Tipologija	2.23	Patentna prijava
	COBISS.SI-ID	23790631	

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

Na osnovi aplikativnih rezultatov, ki smo jih dosegli v preteklih letih na področju razvoja mobilnih WiMAX sistemov smo bili povabljeni skupaj skupaj z LTFE na Fakulteti za elektrotehniko k sodelovanju v razvojni projekt »Pico bazna postaja četrte generacije«, ki ga koordinira podjetje 4G Neuron d.o.o. in financira pa Tehnološka agencija Slovenije.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

9.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

V raziskovalni projekt so vključeni elementi inovativnosti, ki so pomembni tudi za razvoj znanosti, kar priča objava člankov v domačih in mednarodnih revijah. Zlasti pomembni sta dve patentni prijavi pri US PTO s področja samo-organizirajočih omrežij, ki vsebujejo WiMAX pico bazne postaje.

Ocenjujemo, da je bil dosežen doprinos k razvoju znanosti na naslednjih področjih:

- razvoj modela radijskega kanala, ki omogoča kakovostno načrtovanje radijskega omrežja,
- razvoj programskih orodij za izračun pokritja z WiMAX signalom,
- izbor novih načinov ocenjevanja kakovosti radijskega kanala,
- raziskave in razvoj novih modulacijsko-kodnih postopkov za sisteme MIMO,
- razvoj iterativnih metod dekodiranja v sistemih MIMO,

- razvoj novega postopka za lociranje mobilnega uporabnika v znanem omrežju WiMAX,
- razvoj postopkov za samodejno prilagajanje parametrov nove bazne postaje spremembam okolja v omrežju WiMAX.

ANG

Research project includes innovation elements, which are important from the scientific point of view, what is proved by the publication of the articles in national and international journals. particularly important are two patent applications, submitted to US PTO, related to the field of self-organizing networks including WiMAX pico base stations.

Scientific contributions are reached particularly in the following topics:

- development of radio channel model which enables appropriate design of radio network,
- development of software tool for WiMAX signal coverage calculation,
- selection of new procedures to assess the quality of radio channel,
- investigation and analysis of new coding and modulation techniques for MIMO systems,
- design of iterative decoding techniques in MIMO systems,
- investigation of new technique for mobile user localization in mesh network,
- development of new procedures for self-organizing base station parameter adaptation to the environment in the WiMAX network.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Z orodji za načrtovanje in analizo brezžičnih omrežij, ki jih uporabljamo v raziskovalnem projektu, je mogoče bolj učinkovito načrtovati arhitekturo omrežja, izračunavati pokritost z radijskim signalom in ugotavljati zmožljivost omrežij ob različnih prometnih obremenitvah. Rezultati projekta so lahko v pomoč slovenskim podjetjem na področju načrtovanja mobilnih širokopasovnih brezžičnih omrežij in pri uvajanju novih multimedijских storitev v ta omrežja, kar doprinaša k povečanju proizvodnje, ekonomski rasti in k splošnemu razvoju družbe.

Rezultati projekta še posebej koristijo podjetju Telsima oziroma njegovemu spin-offu 4G Neuron pri razvoju in proizvodnji baznih postaj za sistem WiMAX, ki jih prodajajo doma predvsem pa na svetovnem tržišču, največ v Indiji.

Rezultati projekta koristijo tudi slovenskim mobilnim operaterjem in ponudnikom storitev. Programska orodja, ki smo jih razvili in izpopolnili v okviru projekta koristijo pri načrtovanju in ocenjevanju zmožljivosti brezžičnih telekomunikacijskih omrežij ter pri uvajanju novih internetnih storitev.

ANG

With network simulation tools, used and developed in the project, we can design the network architecture more efficiently. By simulations we can evaluate the performance of broadband wireless networks under various traffic loads. The research project is forming the technological basis for the implementation of new platform for broadband wireless access, which is efficient, adaptive, competitive and significantly contribute to higher GDP, faster economical growth and advanced society in Slovenia.

The project results are particularly useful for company Telsima, and its spin-off company 4G Neuron, which is developing and producing base stations for the WiMAX system and is selling them at home as well as in the global market, particularly in India.

Slovenian service providers and operators may benefit from the project results. Software tools which were developed and upgraded during the project are useful for design and performance evaluation of wireless telecommunications networks and service provision.

10. Samo za aplikativne projekte!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri aplikativnem 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	Dosežen

	Uporaba rezultatov	V celoti
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
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	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
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	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
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	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
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	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

Projekt je pomembno prispeval k tehnološkemu razvoju in konkurenčnosti in uspešnemu preboju na domačem in tujem trgu.

Nove rešitve, ki so nastale v času trajanja projekta niso omejene le na sistem WiMAX ampak omogočajo dodano vrednost tako za končnega uporabnika kot za kateregako ponudnika širokopasovnih, brezžičnih komunikacij.

11. Samo za aplikativne projekte!

Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visoko-šolskega 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

Projekt je pomembno prispeval k tehnološkem razvoju in konkurenčnosti WiMAX pico baznih postaj na domačem in tujem trgu.

Nove rešitve, ki so nastale v času trajanja projekta omogočajo dodano vrednost tako za proizvajalce mobilnih komunikacijskih sistemov, kot tudi za ponudnike širokopasovnih storitev.

12. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki [12](#)

1.	Sofinancer Telekom Slovenije d.d.		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		49.642,00
			EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		21,10
			%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.	pridobitev novih praktičnih znanj	F.01
	2.	pridobitev novih znanstvenih spoznanj	F.02
	3.	dvig tehnološke ravni	F.04
	4.		
	Komentar		
	Projektna skupina na IJS je v letu 2009 razvila za potrebe TS simulacijski model za analizo delovanja omrežja, ki je univerzalen in se je izkazal za koristnega zlasti pri načrtovanju in uvajanju novih storitev v omrežje Telekoma Slovenije. Poleg tega je projektna skupina na IJS izdelala študijo »Zagotavljanje povezav za komunikacijske storitve v posebnih razmerah, v kateri so navedeni tudi rezultati poskusa, ki se nanaša na meritve pokritja z WiMAX signalom. Pri poskusu so bile uporabljene pico bazne postaje za mobilni WiMAX, ki jih je razvila Telsima d.o.o.		
	Ocena		
	Sofinancer ocenjuje raziskovalne rezultate projekta L2-1109 pozitivno. Sofinancer namerava nadaljevati sodelovanje s člani projektne skupine, predvsem v smeri nadaljnjega razvoja in dopolnitve simulacijskega modela tako, da bi z njim zajeli celotno omrežje Telekoma Slovenije.		
2.	Sofinancer Telsima d.o.o.		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		4.307,00
			EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		14,70
			%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.	pridobitev novih znanstvenih spoznanj	F.02
	2.	dvig tehnološke ravni	F.04
	3.	azvoj novega izdelka	F.06

	4.		
	5.		
Komentar	Projektna skupina na IJS je v okviru razvoja mobilne pico bazne postaje WiMAX izdelala za potrebe Telsime tri študije: 1. Ocena prepustnosti WiMAX omrežja v idealnih pogojih in okolju 'pedestrian' s simulacijskim orodjem OPNET, 2. Influence of the scheduling type and maximum sustained and minimum reserved traffic rate parameters on the throughput in the IEEE 802.16e-2005 environment, 3. ARQ, HARQ and handover study for the 802.16e-2005 environment.		
Ocena	Sofinancer ocenjuje raziskovalne rezultate projekta L2-1109 pozitivno. Izdelane študije so prispevale k razumevanju in izboljšavi delovanja mobilnega WiMAX sistema in omogočile hitrejši razvoj pico WiMAX baznih postaj		
3.	Sofinancer		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.		
	2.		
	3.		
	4.		
	5.		
	Komentar		
	Ocena		

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, za objavo 6., 7. in 8. točke na spletni strani <http://sicris.izum.si/> 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:

Gorazd Kandus	in	
podpis vodje raziskovalnega projekta		zastopnik oz. pooblaščen oseba RO

Kraj in datum:

Ljubljana

20.4.2011

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2011-1/124

¹ Zaradi spremembe klasifikacije družbeno ekonomskih ciljev je potrebno v poročilu opredeliti družbeno ekonomski cilj po novi klasifikaciji. [Nazaj](#)

² Samo za aplikativne projekte. [Nazaj](#)

³ Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja ter rezultate in učinke raziskovalnega projekta. Največ 18.000 znakov vključno s presledki (približno tri strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti 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 (obrazložitev). V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁶ Navedite največ pet najpomembnejših znanstvenih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov v slovenskem in angleškem jeziku (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki) v slovenskem in angleškem jeziku, navedite, kje je objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote.

Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>.

PRIMER (v slovenskem jeziku):

Naslov: Regulacija delovanja beta-2 integrinskih receptorjev s katepsinom X;

Opis: Cisteinske proteaze imajo pomembno vlogo pri nastanku in napredovanju raka. Zadnje študije kažejo njihovo povezanost s procesi celičnega signaliziranja in imunskega odziva. V tem znanstvenem članku smo prvi dokazali... (največ 600 znakov vključno s presledki)

Objavljeno v: OBERMAJER, N., PREMŽL, A., ZAVAŠNIK-BERGANT, T., TURK, B., KOS, J.. Carboxypeptidase cathepsin X mediates $\beta 2$ - integrin dependent adhesion of differentiated U-937 cells. Exp. Cell Res., 2006, 312, 2515-2527, JCR IF (2005): 4.148

Tipologija: 1.01 - Izvirni znanstveni članek

COBISS.SI-ID: 1920113 [Nazaj](#)

⁷ Navedite največ pet najpomembnejših družbeno-ekonomsko relevantnih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki), izberite ustrezen rezultat, ki je v Sifrantu raziskovalnih rezultatov in učinkov (Glej: <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/sif-razisk-rezult.asp>), navedite, kje je rezultat objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote.

Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>. [Nazaj](#)

⁸ Navedite rezultate raziskovalnega projekta 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. [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/prepišite 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](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2011-1 v1.01

40-F7-FC-7E-38-6D-2E-45-EC-6E-6F-96-F6-2D-38-5F-FE-5A-F4-98