

## ХЕТЕРОГЕНЕ БЕЖИЧНЕ МРЕЖЕ У ИНТЕЛИГЕНТНИМ ТРАНСПОРТНИМ СИСТЕМАМА

Доц. др Бојан Бакмаз, дипл. инж. саоб.

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, b.bakmaz@sf.bg.ac.rs

Прегледни рад

**Сажетак:** Имајући у виду значај бежичних комуникација у реализацији интелигентних транспортних система, овај рад сагледава могућности и изазове интеграције хетерогених технологија у јединствено мрежно окружење, са циљем унапређења квалитета сервиса. Анализирани су захтеви и могућности реализације сервиса који се првенствено односе на аспект безбедности, као и сервиса за управљање саобраћајем. Сагледавањем карактеристика перспективних бежичних технологија, изложена је архитектура хетерогеног мрежног окружења.

**Кључне речи:** интелигентни транспортни системи, мобилни системи, хетерогене бежичне мреже

## HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS FOR INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS

Bojan Bakmaz, Ph.D. T.E.

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, b.bakmaz@sf.bg.ac.rs

Review paper

**Abstract:** *Having in mind significance of wireless communications in realization of intelligent transportation systems, this paper seeks to provide a comprehensive survey of possibilities and challenging issues, regarding integration of heterogeneous technologies in the unique network environment. Here, quality of service improvement is considered as a main goal. Requirements and use cases of safety and non-safety services are summarized and analyzed. Consequently, a heterogeneous environment architecture that utilizes a variety of prospective wireless networking technologies is presented.*

**Keywords:** *heterogeneous wireless networks, intelligent transportation systems, mobile systems*

### 1. УВОД

Последњих година саобраћајне гужве и незгоде, као и загађење животне средине, постају глобални изазови савременог друштва. Примена комуникационих технологија и интелигентних система у домену саобраћаја и транспорта може значајно утицати на смањење поменутих нежељених појава.

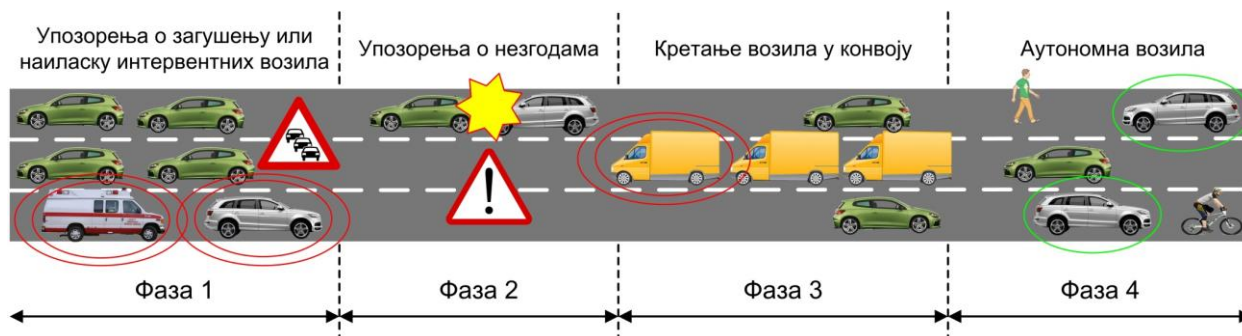
Почетак активног развоја бежичних комуникација између возила (V2V – *Vehicle to Vehicle*), као и возила и путне инфраструктуре (V2I – *Vehicle to Infrastructure*), везује се за 1999. годину, када је Федерална комисија за комуникације САД доделила фреквентни опсег (5,850 - 5,925 GHz) за технологије кратког домета (DSRC – *Dedicated Short Range Communication*). Касније је Међународна унија за телекомуникације (ITU – *International Telecommunication Union*) за ове технологије препоручила фреквенције (5,725 - 5,875 GHz) у нелиценцираном (ISM – *Industrial Scientific, Medical*) опсегу. DSRC су у досадашњем периоду биле разматране као доминантне технологије у области интелигентних транспортних система (ИТС) [1,2], да би у последње време значајна пажња била посвећена могућностима примене мобилних мрежа у ове сврхе [3].

Имајући у виду позитивне аспекте примене мобилних мрежа у ИТС, који се односе на шире подручје покривања, расположивост поуздане и безбедне инфраструктуре, као и задовољавајућу брзину преноса информација, али и ограничења у погледу капацитета, као адекватно решење намеће се њихова интерконекција са DSRC, у циљу формирања хетерогеног окружења [4]. Имплементација овакве архитектуре са собом доноси низ изазова у смислу ефикаснијег приступа мрежним ресурсима и обезбеђивања квалитета сервиса, са тежиштем на параметру кашњења, који је од изузетног значаја за ИТС сервисе.

У наставку рада биће анализирани захтеви и могућности реализације различитих ИТС сервиса. Други део рада је посвећен савременим бежичним технологијама као кључном елементу ИТС и могућностима реализације хетерогеног окружења које би чиниле мобилне мреже опште намене и специфичне бежичне технологије развијене за потребе комуникација у саобраћају и транспорту. Биће приказани технички изазови, као и могућа решења при реализацији овакве архитектуре.

### 2. СЕРВИСИ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМА

Концепт ИТС подразумева примену савремених информационо-комуникационих технологија ради повећања ефикасности и безбедности саобраћаја и транспорта. ИТС је једна од значајних компоненти IoT (*Internet of Things*) окружења [5] и представља карактеристичан пример M2M (*Machine to Machine*) комуникација [6]. Према Меморандуму о разумевању, потписаном у оквиру *CAR2CAR Communication*



Слика 1. Фазе имплементације ИТС са карактеристичним сервисима

Табела 1. Сервиси у ИТС са захтевима у погледу учестаности и кашњења

Категорија	Сервис	Учестаност (1/s)	Макс. кашњење (ms)
Безбедност	Упозорења о статусу возила (изненадно кочење, претицање, промена правца, проклизавање)	10	100
	Обавештења о врсти возила (интервентна возила*, спора возила, мотоцикли, бицикли)	2 (10*)	
	Упозорења о опасности на путу (погрешан смер, заустављена возила, загушења на путу, радови на путу)	10	
Управљање саобраћајем	Обавештења о ограничењима и препорученој брзини	1-2	100
	Обавештења о наиласку на раскрсницу	1	
	Електронска наплата путарине	1	500
Информисање и забава	Обавештења о локацијама објекта од интереса	1	500
	Е-трговина	1	
	Преузимање мултимедијалног садржаја	1	

конзорцијума [7], почетак имплементације ових система везује се за 2015. годину, предвиђајући четири транзиционе фазе (Слика 1). У почетним фазама имплементације предвиђени су искључиво основни сервиси упозорења возача о стању на путу применом бежичних технологија кратког домета, док се у каснијим фазама предвиђа увођење комплекснијих сервиса као што је кооперативно, а потом и потпуно аутономно управљање возилима. Предуслови за увођење напреднијих сервиса се односе на високу пенетрацију електронске опреме у возилима и путној инфраструктури, као и примену нових генерација мобилних система и бежичних технологија. У перспективи, поред V2V и V2I комуникација, значајну улогу у ИТС сервисима имаће и V2P (*Vehicle to Pedestrian*) комуникација [8], чиме ће бити обухваћени сви учесници у саобраћају.

Сервиси у ИТС могу се класификовати у три опште категорије:

- Безбедносни сервиси, који директно утичу на безбедност учесника у саобраћају умањујући могућност појаве нежељених догађаја.

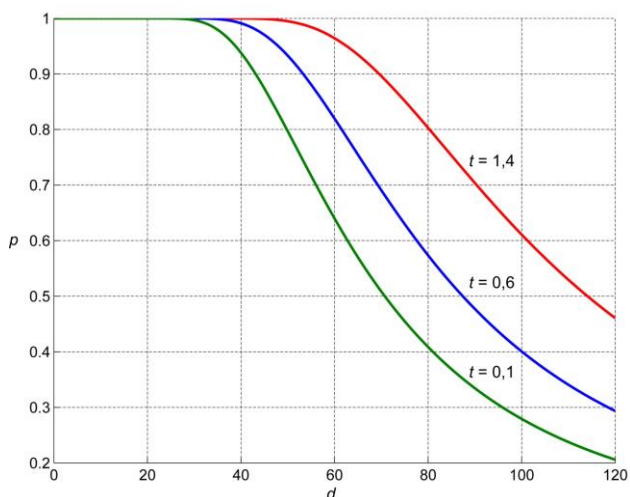
- Сервиси за управљање саобраћајем, који директно утичу на одвијање саобраћаја и транспорта, повећавајући њихову ефикасност.
- Сервиси за информисање и забаву (*infotainment*), који немају директан утицај на безбедност и одвијање саобраћаја, али могу у значајној мери утицати на перформансе комуникационог система и корисничко искуство.

Категорије и карактеристични примери сервиса у ИТС са одговарајућим захтевима у погледу учестаности и максималног кашњења приказани су у табели 1. Безбедносни сервиси свакако представљају најзахтевнију категорију у погледу интензитета (учестаности) генерисања порука, кашњења, поузданости и безбедности преноса. За ове сервисе потребно је обезбедити кашњење мање од 100 ms, с обзиром да се време реакције већине возача креће у интервалу од 0,6 до 1,4 s. Утицај времена реакције возача, односно кашњења у преносу порука код примене ИТС, на вероватноћу судара два возила која се крећу у истом смеру приказан је на слици 2. Вероватноћа судара услед наглог заустављања првог возила може се представити на основу кумулативне функције нормалне расподеле [9]:

$$p = 1 - \int_{-\infty}^{-L-D} f(x; \mu, \sigma) dx, \quad (1)$$

при чему је  $L$  просечна дужина возила,  $D$  зауставни пут, а  $f(x; \mu, \sigma)$  нормална густина расподеле, са средњом вредношћу  $\mu = -d$  и стандардном девијацијом  $\sigma = d/2$ , где је  $d$  просечно растојање између возила. Зауставни пут зависи од брзине возила  $v$ , времена реакције  $t$  и коефицијента трења  $\eta$ :

$$D = vt + \frac{v^2}{2g\eta}. \quad (2)$$



Слика 2. Утицај времена реакције возача и кашњења у преносу порука на вероватноћу судара услед наглог заустављања возила

Код примене ИТС сервиса за избегавање судара са кашњењем у преносу порука од 100 ms, могуће је уочити значајно смањење вероватноће судара два возила која се крећу у истом смеру услед наглог заустављања првог возила, чак и у случају минималног времена реакције возача (0,6 s). Разлика постаје значајнија нарочито у условима смањене видљивости и другим случајевима када је време реакције возача повећано.

### 3. ПЕРСПЕКТИВНЕ КОМУНИКАЦИОНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ И СТАНДАРДИ У ИТС

До сада је разматрана могућност примене више различитих бежичних технологија, које у мањој или већој мери могу испунити захтеве ИТС апликација [10]. Као перспективно решење наметнули су се стандарди који се развијају у оквиру IEEE (*Institute of Electrical Electronics Engineers*) радних група 802.11 и 1609. Амандманом IEEE 802.11p [11] дефинисане су карактеристике физичког интерфејса DSRC технологије, док стандард IEEE 1609 [12] пружа подршку вишим слојевима референтног модела, а односи се на механизме управљања

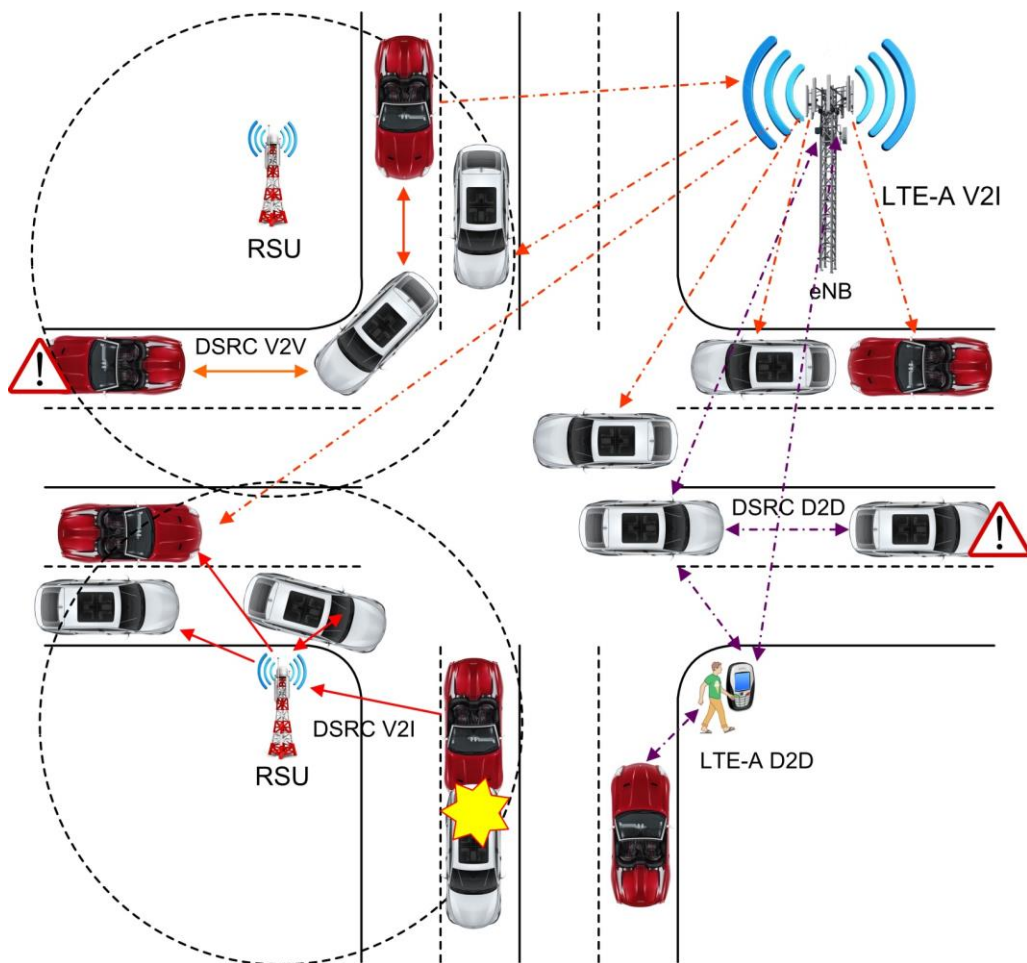
ресурсима, безбедност, рутирање и вишеканални приступ. Ова два стандарда формирају тзв. WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environments*) архитектуру протокола, која треба да омогући V2I комуникацију имплементацијом већег броја RSU (*Road Side Unit*), као и *ad-hoc* V2V комуникацију. Имајући у виду карактеристике приказане у табели 2, јасно је да стандард IEEE 802.11p доноси низ предности, које се огледају у коришћењу нелиценцираног спектра и обезбеђеној подршци за квалитет сервиса, али и низу ограничења у домену мобилности, скалабилности и тржишној доступности.

Табела 2. Карактеристике перспективних бежичних технологија

Стандард	IEEE 802.11p	LTE-A
Фреквенцијски опсег	5,7-5,9 GHz	450 MHz-5 GHz
Ширина канала	10 MHz	до 100 MHz
Макс. брзина преноса података	27 Mb/s	1 Gb/s
Радијус покривања	1 km	30 km
Мобилност	до 60 km/h	до 350 km/h
Квалитет сервиса	унапређени приступ каналу	класе сервиса
V2I	да	да
V2V	<i>ad-hoc</i>	D2D
V2P	не	да
Тржишна доступност	ограничена	изражени потенцијал

Због изражене мобилности корисника и динамичности промене топологије, јасно је да једна комуникациона технологија не може да задовољи све захтеве ИТС сервиса. Комбинацијом савремених мобилних система и комуникационих технологија кратког домета могуће је формирати хетерогено мрежно окружење (Слика 3) [13]. Имплементацијом унапређених мобилних система LTE-A (*Long Term Evolution Advanced*), очекује се превазилажење ограничења у погледу капацитета, мобилности, кашњења, итд.

Иако DSRC технологије подржавају V2I комуникацију, мобилни системи свакако представљају економичније и ефикасније решење. Мобилни системи обезбеђују дифузиони (*multicast*) и усмерени (*unicast*) режим преноса информација између базе станице (*eNodeB-eNB*) и возила, с тим што је двосмерни пренос информација доступан искључиво у усмереним линковима. LTE-A системи подржавају задовољавајуће брзине преноса података уз прихватљиво кашњење чак и у условима изражене мобилности корисника [14].



Слика 3. Хетерогено мрежно окружење за ИТС

Такође, због централизоване архитектуре и примене напреднијих антенских система, ови системи су отпорнији на нежељене ефекте као што су фединг и интерференција. Поред очигледних предности, имплементација LTE-A технологије у ИТС доноси и низ изазова у домену квалитета сервиса, безбедности и поузданости.

LTE системи изворно не пружају подршку за V2V режим комуникације, међутим њиховим даљим унапређењем предвиђа се директна комуникација између уређаја (тзв. D2D – *Device to Device* комуникација). Ова техника се може применити у ИТС, уз превазилажење одређених проблема. Један се односи на појаву интерференције, уколико D2D комуникациони линкови користе исте радио ресурсе као и ћелијски системи. Такође, кретање возила већим брзинама значајно могу утицати на деградацију перформанси овог вида комуникације. Успостављање везе у оваквим условима представља временски захтевну процедуру, која утиче на повећање укупног кашњења у преносу.

Као потенцијално решење намеће се комбинација технологија кратког домета и мобилних мрежа, при чему би се пренос података одвијао преко IEEE 802.11p, у нелиценцираном опсегу, док би се контрола вршила преко LTE-A канала у лиценцираном делу спектра. Овакво решење нарочито добија на значају у подручјима са лошијом пропагацијом сигнала са базне станице.

#### 4. ЗАКЉУЧАК

У раду су анализирани карактеристике савремених бежичних технологија, као и могућност њихове примене у ИТС. Пошто ниједна од технологије не може у потпуности да одговори на строге захтеве које постављају ИТС апликације из домена безбедности учесника у саобраћају, као адекватно решење намеће се хетерогена мрежна архитектура. Хетерогена архитектура може да искористи потенцијале DSRC и мобилних система, као алтернативних технологија, у зависности од врсте комуникација (V2I или V2V), брзине кретања возила, саобраћајног оптерећења и захтева у погледу квалитета сервиса.

Актуелне комуникационе технологије могу да обезбеде задовољавајући ниво квалитета сервиса за ИТС апликације изван домена безбедности. Међутим, наставком досадашњег тренда унапређења мобилних ситета и увођења нове генерације сваких десетак година, за очекивати је да напредна технолошка решења за дензификацију архитектуре, као што су дистрибутивни антенски системи и примена милиметарских таласа, значајно повећају капацитете мрежних ресурса и тиме обезбеде подршку за захтевније ИТС апликације.

## Литература

- [1] Jiang, D., et al. (2006). Design of 5.9 GHz DSRC-based Vehicular Safety Communication. *IEEE Wireless Communications*. 13(5), 36-43.
- [2] Morgan, Y.L. (2010). Notes on DSRC & WAVE Standards Suite: Its Architecture, Design, and Characteristics. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 12(4), 504-518.
- [3] Araniti, G., et al. (2013). LTE for Vehicular Networking: A Survey. *IEEE Communications Magazine*. 51(5), 148-157.
- [4] Бакмаз, Б. (2008). *Квалитет сервиса у хетерогеним бежичним мрежама*. Београд: Задужбина Андрејевић.
- [5] Bojkovic, Z., Bakmaz, B., Bakmaz, M. (2013). Some Challenging Issues for Internet of Things Realization. *Proc. 12th International Conference DNCOCO '13*. Lemosos, Cyprus, 63-70.
- [6] Bojkovic, Z., Bakmaz, B., Bakmaz, M. (2014). Machine-to-Machine Communication Architecture as an Enabling Paradigm of Embedded Internet Evolution. *Proc. 13th International Conference ACE '14*. Lisbon, Portugal, 40-45.
- [7] Memorandum of Understanding for OEMs within the CAR 2 CAR Communication Consortium on Deployment Strategy for cooperative ITS in Europe (2011). *CAR-2-CAR Communication Consortium*.
- [8] Campolo, C., Molinaro, A., Scopigno, R. (2015). From Today's VANETs to Tomorrow's Planning and the Bets for the Day After. *Vehicular Communications*. 2(3), 158-171.
- [9] Garcia-Costa, C., et al. (2011). Speeding Up the Evaluation of Mathematical Model for VANETs Using OpenMP. In: Pina, N., Kacprzyk, J., Filipe, J. (Eds.). *Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications*, Berlin Heidelberg: Springer.
- [10] Atallah, R.F., Khabbaz, M.J., Assi, C.M. (2015). Vehicular Networking: A Survey on Spectrum Access Technologies and Persisting Challenges. *Vehicular Communications*. 2(3), 125-149.
- [11] IEEE 802.11p (2010). *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments*.
- [12] IEEE 1609.0 (2013). *Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Architecture*.
- [13] Zheng, K., et al. (2015). Heterogeneous Vehicular Networking: A Survey on Architecture, Challenges, and Solutions. *IEEE Communication Surveys and Tutorials*. 17(4), 2377-2396.
- [14] Mumtaz, S., et al. (2015). Cognitive vehicular communication for 5G. *IEEE Communications Magazine*. 53(7), 109-117.