

АНАЛИЗА ВЕРОВАТНОЋЕ ГРЕШКЕ ПАКЕТА КОД IEEE 802.11p СТАНДАРДА ANALYSIS OF PACKET ERROR PROBABILITY IN THE IEEE 802.11p STANDARD

Милица Пругинић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОМУНИКАЦИЈЕ

Кратак садржај – Тема рада брави се проучавањем бежичних комуникација, са акцентом на IEEE 802.11p стандард, његову примену и утицај који остварује у домену аутомобилских комуникација. Саобраћајну инфраструктуру чини више различитих типова сервиса који су уједињени у систем Vehicle to Everything (V2X). У MATLAB софтверском окружењу, са главним елементима који чине комуникациони систем – предајник, комуникациони канал и пријемник, остварена је практична примена на верзији софтвера R2024b. Главни мотив рада је да прикаже симулацију мерења стопе грешака пакета поређењем параметара SNR (Signal to noise ratio) и PER (Packet Error Rate).

Кључне речи: Бежичне комуникације, V2X, IEEE 802.11p, MATLAB, SNR, PER

Abstract – The subject of the study of Wireless Communications, with an emphasis on the IEEE 802.11p standard, its application and impact in the field of automotive communications. The traffic infrastructure consists of several different types of services that are united in the Vehicle to Everything (V2X) system. In the MATLAB software environment, with the main elements that include in the communication system – transmitter, communication channel and receiver. A practical application was realized on software version R2024b. The main motive of the thesis is to show the simulation of packet error rate measurement by comparing the SNR (Signal to noise ratio) and PER (Packet Error Rate) parameters.

Keywords: Wireless Communications, V2X, IEEE 802.11p, MATLAB, SNR, PER

1. Увод

Стандард бежичних технологија IEEE 802.11p представља кључну технологију која је омогућила раст и напредак у области аутомобилских комуникација. Поменути стандард је развијен као део IEEE 802.11 стандарда, чија је улога да допринесе стварању интелигентних транспортних система.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистакао је из мастер рада чији ментор је била др Милица Петковић, доцент.

IEEE 802.11p стандард ради у фреквенцијском опсегу који је резервисан за аутомобилске комуникације. Само неке од предности IEEE 802.11p стандарда су висока поузданост у преносу података, као и брза размена прецизних информација. Главни циљ поменутог стандарда је да унапреди свакодневну вожњу и да пружи подршку са аспекта безбедности у саобраћају, без обзира на променљиво саобраћајно окружење.

2. ГЛАВНИ ЕЛЕМЕНТИ КОМУНИКАЦИОНОГ СИСТЕМА

Главни елементи који чине сваки комуникациони систем су предајник, комуникациони канал и пријемник. Протокол је основно средство за размену података и контролних информација у слојевитим архитектурама комуникационих система. За потребе размењивања информација од значаја користе се протоколи који укључују главне моделе јединица као што су физички (PHY) и MAC слој. Информације, односно, кориснички подаци се преносе између слојева у облику који је погодан за пренос, а то су сервисне јединице података (Service Data Unit - SDU). Облик који је погодан за пренос је PHY SDU, односно PSDU. У оквиру јединичних модела размена података се одвија преко протоколских јединица података (Protocol Data Units - PDU). У MAC моделу се размењује MAC PDU, или познат као MPDU, са својим модулом. У оквиру PHY модела се размењује PHY PDU са својом јединицом [1].

Предајник учествује у преносу информација од значаја, контролних информација и информација које су потребне за обраду података на физичком слоју. Предајник конвертује сигнал у облик који је погодан за даљи пренос кроз комуникациони канал. Идентификација грешака у преносу се врши на начин поређења послатих PSDU са примљеним PSDU.

Комуникациони канал чине Vehicle to Vehicle (V2V) Channel и AWGN (Additive white Gaussian noise). Комуникациони канал за потребе комуникације између возила (V2V Channel) омогућава директну бежичну комуникацију потребама интелигентног транспортног система (Intelligent transportation system - ITS). Деле се информације о брзини, положају и променама у правцу кретања возила. Процењују се перформансе комуникације између возила приликом вожње у различитим условима. Комуникациони канал је виртуелна путања за бежичну комуникацију, која за потребе симулације, има улогу у слању пакета између возила. Главни циљ је анализа стопе грешака (Packer

Error Rate - PER) у различитим тачкама односа снаге корисног сигнала и шума. У комуникационом каналу се додаје адитивни бели Гаусов шум који има улогу да симулира ефекат шума за потребе симулације. Адитивни бели Гаусов шум је математички модел који утиче на анализу утицаја различитих нивоа шума, у пракси, код бежичних канала као медијума преноса података. Анализира се квалитет преноса и процењују се перформансе док се комуникација одвија у реалним условима.

Пријемник је у овом случају најсложенији саставни елемент комуникационог система. Он сам по себи ствара јединствени систем који укључује неколико блокова.

Први, обавезни блок у систему пријемника је *Packet Detect and Coarse Frequency Correction*, односно блок који је задужен за детекцију пакета и грубу корекцију фреквенције. Овај блок има задатак да детектује почетак преноса и крај преноса пакета који се преноси што директно омогућује пријемнику да зна када може да очекује пријем информација од значаја. Његова улога је да исправи грубе промене које се јављају током преноса у фреквенцији сигнала [2].

Други, обавезни блок у систему пријемника је *Timing Synchronization and Fine Frequency Correction*, односно блок који је задужен за синхронизацију времена и фину корекцију фреквенције. Овај блок има задатак да обради примљени сигнал и да изврши тачну синхронизацију у временском домену, што укључује правилну интерпретацију временских интервала између суседних симбола. Главни продукт овог блока је прецизна корекција примљеног сигнала [2].

Наредни, обавезни блок у систему пријемника је *L-LTF Demodulator*. Улога поменутог блока је да изврши процес демодулације чиме ће издвојити корисне информације и осигурати тачну синхронизацију за даљи пренос. Такође, *L-LTF Demodulator* је блок на пријемној страни који има улогу да оптимизује пријемник чиме се доприноси поузданом и ефикасном пријему [2].

Наредни, обавезни блок у систему пријемника о коме ће бити речи је *NonHT Data Demodulation*. Главни задатак овог блока је процес обраде специфичних података који су одређени захтевом за *NonHT (Non High Throughput)* модулациони режим [2].

Наредни, обавезни блок у систему пријемника о коме ће бити речи је *NonHT Data Phase Tracking* који доприноси поузданој комуникацији и важан је елемент када је реч о бежичним аутомобилским комуникацијама, веома високе мобилности. Овај блок има задатак да ризик од губитка синхронизације сведе на минимум тако што прати фазу и ради на одржавању тачног временског интервала током процеса пријема сигнала на пријемној страни [2].

Наредни, обавезни блок у систему пријемника о коме ће бити речи је *Decision Directed Channel Tracking* који има задатак да одржи оптималну везу између предајне и пријемне стране. Поменути, обавезни блок прилагођава параметре канала у складу са условима у којима се одвија аутомобилска комуникација. Неки од

ризичних сценарија који имају утицаја на квалитет комуникације су препреке које се јављају током комуникације као и временски или било који други амбијентални услови. Такође, сам положај возила значајно утиче на то каквог квалитета ће бити комуникација [2].

Наредни, обавезни блок у систему пријемника о коме ће бити речи је *NonHT Data Equalization*, чија је примарна улога да смањи утицај изобличења која су настала услед дејства карактеристика бежичног канала. Овај блок има задатак да оптимизује перформансе пријемника и да допринесе бољем квалитету примљеног сигнала [2].

Наредни, обавезни блок у систему пријемника о коме ће бити речи је *NonHT Data Decoding*. Блок *NonHT Data Decoding* има улогу декодовања и веома је важан блок за ефикасан рад пријемника. Поменути блок нам обезбеђује прецизне информације када је реч о стању система и пружа нам увид у команде и поруке које су саставни део комуникације. На излазу последњег блока, у систему пријемника, налази се *PSDU* [2].

3. СИМУЛАЦИЈА МЕРЕЊА СТОПЕ ГРЕШАКА ПАКЕТА У АУТОМОБИЛСКИМ КОМУНИКАЦИЈАМА У MATLAB СОФТВЕРСКОМ ОКРУЖЕЊУ

Симулација мерења стопе грешака пакета у аутомобилским комуникацијама у *MATLAB* софтверском окружењу је изведена у лабораторијским мерењима на верзији софтвера *R2024b*. Како је *MATLAB* сам по себи веома сложено софтверско окружење, пружа нам мноштво софтверских могућности и приказа. Симулација мерења стопе грешака пакета у аутомобилским комуникацијама, у *MATLAB* софтверском окружењу, може да се реализује имплементацијом кода. Симулација треба да прикаже реално понашање параметара за *IEEE 802.11p* стандард.

Прва целина поставља задатак конфигурације таласног облика. Када имплементирамо *PSDU (Physical Layer Service Data Unit)* кодујемо га и на тај начин формирамо таласни облик пакета који се шаље кроз комуникациони канал. У овом раду се користи *QPSK* модулациона техника. Потом прелазимо на имплементацију параметара који су специфични за *IEEE 802.11p* пренос. Затим имплементирамо објекте конфигурације за *NonHT* пренос уз помоћ функције *wlanNonHTConfig*, затим постављамо ширину канала на 10 MHz што има директног утицаја на опсег фреквенција које се користе за потребе преноса сигнала.

Следећа целина показује на који начин можемо да креирамо и да конфигуришемо комуникациони канал. У овом случају моделујемо радио канал за потребе аутомобилских комуникација. Сценарио описује урбано окружење уз присуство бројних објеката, као што су пословни и стамбени објекти, али и истакнути углови који имају утицаја на комуникацију. Приликом имплементације користимо сценарио *NLOS (Non line of sight propagation)*,

односно, сценарио у ком немамо директну линију видљивости.

Од велике важности је дефиниција профила кашњења. У овом примеру се симулира профил „Urban NLOS“ што означава да је наше окружење у ком се комуникација одвија урбаном. У урбаном окружењу имамо појаву вишеструких путева али и честа кашњења сигнала. У окружењу у ком преовладава NLOS сценарио можемо приметити да постоје бројне физичке препреке на путу од предајника до пријемника што директно утиче на кашњење сигнала, али и на појаву рефлексија, дифракција и расејања сигнала јер послати сигнал стиже до пријемника након пропагације кроз неколико различитих путања [2].

За сваку вредност SNR, односно, односа снаге корисног сигнала и шума, генерисаће се одређени број пакета који се пропушта кроз канал у ком фигурише шум. Потом ће се пакети пропустити кроз демодулатор. На самом крају процеса се одређује стопа грешке пакета за сваку вредност односа корисне снаге сигнала и шума. На тај начин ћемо проверити перформансе система са различитим нивоима SNR [2].

Потребно је дефинисати параметре као што су *maxNumErrors* и *maxNumPackets*. *maxNumErrors* је параметар који означава максималан број симулираних грешака пакета на једној SNR тачки. Када се ова граница достигне, симулација се завршава за ту тачку. Параметар *maxNumPackets* означава максималан број симулираних пакета на једној SNR тачки. Овај параметар ограничава дужину трајања симулације ако се граница за грешке пакета не достигне [2].

У симулацији се имплементира и генератор случајних бројева. Главна улога генератора случајних бројева је да обезбеди да симулација буде поновљива и да добијени резултати могу да се упореде, што је од великог значаја када год имамо симулацију појединих сценарија или бројне друге експерименте [2].

Обрада пакета је сложен процес који треба да обухвати више повезаних активности. Прво се врши детекција пакета, а затим његова груба процена. Фреквенција носиоца се коригује и потребно је извршити синхронизацију симбола. На самом крају обраде потребно је урадити фину корекцију и процену фреквенције носиоца.

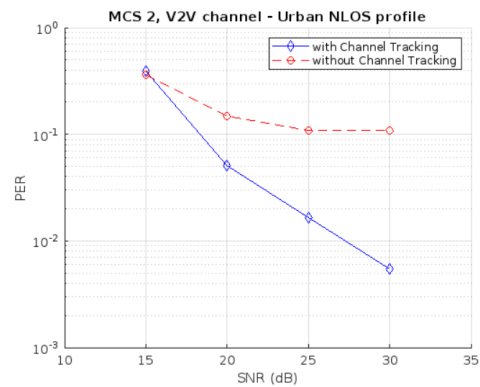
Постоје два различита случаја за тестирање. Један случај укључује сценарио у ком имамо омогућено праћење канала, док у другом сценарију немамо омогућено праћење канала. У симулацији са праћењем канала чувамо вредности стопе грешака пакета. У већини симулираних сценарија, бољи резултати су постигнути у симулацији са омогућеним праћењем канала. Добијен је мањи PER него у симулираним сценаријима код којих немамо укључено праћење канала, а самим тим ни адаптацију пријемника на промене у каналу.

Једна од основних, обавезних активности приликом пројектовања система за потребе аутомобилских комуникација укључује обавезан поступак тестирања

система. Са тестирањем система и његових карактеристика можемо унапред уочити слабе тачке. На следећих пар приложених слика, можемо уочити графички приказ различитих сценарија у којима имамо различите вредности параметара „*maxNumErrors*“ и „*maxNumPackets*“.

Већи број послатих пакета и већи број грешака дају поузданије резултате, али и дуже време трајања симулације. Мали број постављен за параметар „*maxNumErrors*“, а велики број додељен параметру „*maxNumPackets*“ може такође дати поуздане резултате са брзом симулацијом исцртавања графика. Насупрот томе, мали број послатих пакета и мали број грешака даје брз графички приказ симулације али са малом прецизношћу. У сценарију у којем имамо мали број послатих пакета, а велики број грешака доводи до брзог графичког исцртавања али овакав сценарио може дати добре резултате само у случају када имамо високи PER, односно мали SNR.

Приказ прве симулације је дат на слици 1 и укључује параметар „*maxNumErrors*“ подешен на 147, док је параметар „*maxNumPackets*“ подешен на 548.



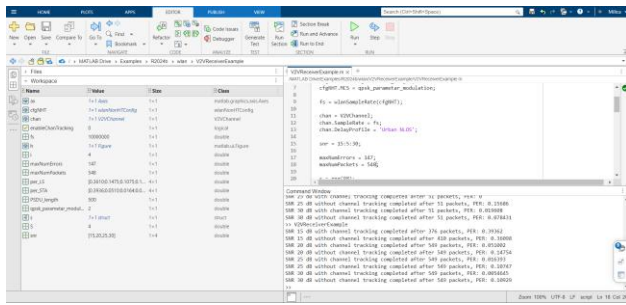
Слика 1. Резултат прве симулације

Приказ „Comand Window“ прозора који одговара првој симулацији је дат на слици 2.

```
>> V2VReceiverExample
SNR 15 dB with channel tracking completed after 376 packets, PER: 0.39362
SNR 15 dB without channel tracking completed after 410 packets, PER: 0.36098
SNR 20 dB with channel tracking completed after 549 packets, PER: 0.051002
SNR 20 dB without channel tracking completed after 549 packets, PER: 0.14754
SNR 25 dB with channel tracking completed after 549 packets, PER: 0.016393
SNR 25 dB without channel tracking completed after 549 packets, PER: 0.10747
SNR 30 dB with channel tracking completed after 549 packets, PER: 0.0054645
SNR 30 dB without channel tracking completed after 549 packets, PER: 0.10929
>>
```

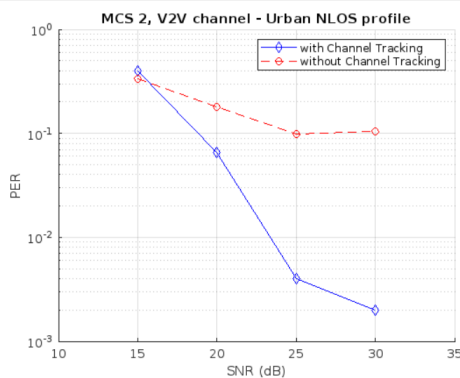
Слика 2. Comand Window прве симулације

Слика 3 има за циљ да прикаже како изгледа MATLAB окружење након извршене симулације. У оквиру домена „Workspace“ приложени су сви параметри и класе којима они припадају, као и њихове нумеричке вредности.



Слика 3. MATLAB окружење прве симулације

Приказ друге симулације је дат на слици 4 и укључује параметар „maxNumErrors“ подешен на 45, док је параметар „maxNumPackets“ подешен на 501.



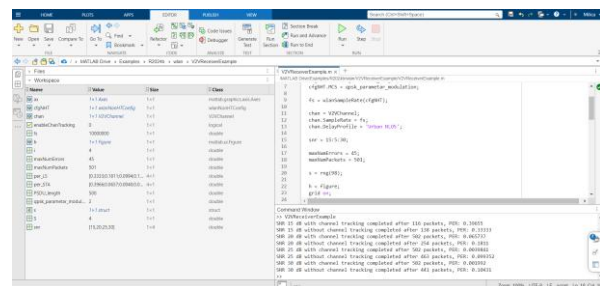
Слика 4. Резултат друге симулације

Приказ „Comand Window“ прозора који одговара другој симулацији је дат на слици 5.

```
>> V2VReceiverExample
SNR 15 dB with channel tracking completed after 116 packets, PER: 0.39655
SNR 15 dB without channel tracking completed after 138 packets, PER: 0.33333
SNR 20 dB with channel tracking completed after 502 packets, PER: 0.065737
SNR 20 dB without channel tracking completed after 254 packets, PER: 0.1811
SNR 25 dB with channel tracking completed after 502 packets, PER: 0.0039841
SNR 25 dB without channel tracking completed after 463 packets, PER: 0.099352
SNR 30 dB with channel tracking completed after 502 packets, PER: 0.001992
SNR 30 dB without channel tracking completed after 441 packets, PER: 0.10431
>>
```

Слика 5. Comand Window друге симулације

Слика 6 има за циљ да прикаже како изгледа MATLAB окружење након извршене друге симулације.



Слика 6. MATLAB окружење друге симулације

4. ЗАКЉУЧАК

Главна предност имплементације кода за IEEE 802.11p стандард та што се параметри могу потпуно флексибилно мењати. На тај начин можемо да допринесемо широком спектру нових симулација што ће нам детаљније пружити увид у перформансе система и показати његове како добре тако и слабе тачке. На овај начин, променом параметара, тестирамо целокупни систем и доприносимо његовом унапређењу. Сваки корак инжењерског напретка је пут ка стварању успешних пројеката који су ту да олакшају свакодневно коришћење технологија будућности.

5. ЛИТЕРАТУРА

[1] Eldad Perahia, Robert Stacey, „Next Generation Wireless LANs – 802.11n and 802.11ac“, Second Edition, Cambridge, University Press, First published 2008, Second edition 2013.

[2] „802.11p Packet Error Rate Simulation for a Vehicular Channel“, MathWorks, 802.11p Packet Error Rate Simulation for a Vehicular Channel - MATLAB & Simulink (mathworks.com), (приступила страници: 16.09.2024.)

Кратка биографија:



Милица Пругинић рођена је у Зрењанину 2000. год. Основне академске студије је уписала шк. 2019/20. године, а дипломирала 22.09.2023. године на Факултету техничких наука у Новом Саду, на смеру Енергетика, електроника и телекомуникације. усмерење: Комуникационе технологије и обрада сигнала и тиме стекла звање дипл. инг. Електротехнике и рачунарства. Мастер академске студије је уписала 2023. године на истом смеру, преусмерење: Информационо-комуникационе технологије и обрада сигнала.

контакт: pruginicm0@gmail.com