

УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
Патре 5
78000 Бања Лука

Др Мирјана Симић-Пејовић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет

Др Гордана Гардашевић, ванредни професор
Универзитет у Бањој Луци, Електротехнички факултет

Др Бранко Блануша, ванредни професор
Универзитет у Бањој Луци, Електротехнички факултет

Доцент др Славко Шајић
Универзитет у Бањој Луци, Електротехнички факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
БАЊА ЛУКА
Број: 512
Датум: 24.05.2017.

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВИЈЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БАЊОЈ ЛУЦИ

На основу одлуке Наставно-научног вијећа Електротехничког факултета Универзитета у Бањој Луци број 20/3.317-332/17 од 15.05.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцјену урађене магистарске тезе Драгана Васиљевића, дипл. инж. ел., под називом "Анализа перформанси OpenMote хардверске платформе у IoT примјенама". Након прегледа приложеног рада, подносимо сљедећи

ИЗВЈЕШТАЈ

1. БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ КАНДИДАТА

Драган Васиљевић, дипл.инж.ел., је рођен 14.10.1975. године у Добоју. Основну школу је завршио у мјесту Копривна код Модриче 1990. године, а Гимназију у Бањој Луци 1994. године. Студирање на Електротехничком факултету у Бањој Луци, Одсјек електроника и телекомуникације, је започео 1995. године.

Током апсолвентског стажа је учествовао у размјени студената коју је организовала студентска организација IAESTE (*International Assotiation for Exchange of Students for Technical Experience*). Том приликом је провео годину дана у Шведској, као студент на пракси у компанији Ериксон, радећи на развоју софтвера за телекомуникације.

Дипломирао је 2002. године на Електротехничком факултету у Бањој Луци, Одсјек електроника и телекомуникације. Постдипломске студије на истом факултету, Одсјек за телекомуникације, је уписао 2003. године. Положио је све испите предвиђене планом и програмом, са просечном оцјеном 9,83.

Од 2002. године је запослен у компанији Телекомуникације Републике Српске а.д. Бања Лука, где је обављао различите послове из области *messaging* сервиса.

Од значајнијих пројектата и задатака које је водио или учествовао у њима, могу се издвојити:

1. Пројектовање и инсталација сервисне платформе за размјену мултимедијалних порука.
2. Пројектовање и инсталација сервисне платформе за размјену SMS порука.
3. Пројектовање и инсталација система говорне поште.
4. Пројектовање и инсталација сервисне платформе за комплетирање позива у мобилној мрежи.
5. Пројектовање и инсталација система за заштиту од SMS спама.
6. Пројектовање и инсталација сервисне платформе за SMS сервисе са додатном вриједношћу.
7. Инсталација сервисне платформе за сервисе на бази USSD (енг. Unstructured Supplementary Service Data) порука.

Тренутно ради на позицији шефа службе за експлоатацију и одржавање сервисних платформи.

У току израде магистарске тезе учествовао је у COST Action CA15104 - IRACON (Inclusive Radio Communication Networks for 5G and beyond) пројекту као аутор и коаутор два техничка документа. Кандидат је публиковао резултате својих истраживања из области теме магистарске тезе, при чему је и коаутор једног од радова публикованог у журналу *Wireless Personal Communication*:

1. D. Vasiljević, G. Gardašević, "Performance Evaluation of OpenWSN Operating System on Open Mote Platform for Industrial IoT Applications", *International Symposium on Industrial Electronics (INDEL)*, Banjaluka, Bosnia and Herzegovina, Nov. 2016, doi: 10.1109/INDEL.2016.7797791.
2. G. Gardašević, M. Veletić, N. Maletić, D. Vasiljević, I. Radusinović, S. Tomović and M. Radonjić, "The IoT Architectural Framework, Design Issues and Application Domains", *Wireless Personal Communication*, Volume 91, No. 2, November 2016, doi: 10.1007/s11277-016-3842-3.

2. ПРЕДМЕТ МАГИСТАРСКЕ ТЕЗЕ

IoT (енг. Internet of Things) је нова област у развоју информационо-комуникационих технологија која се заснива на концепту умрежавања тзв. паметних објеката. IoT представља мрежу физичких објеката који у себи имају уgraђене разноврсне електронске компоненте: сензоре, актуаторе, комуникационе модуле, микропроцесоре са одговарајућим софтвером, итд. Такви објекти могу пратити различите параметре у свом окружењу и аутономно реаговати на њихову промјену, остваривати комуникацију са другим објектима у оквиру IoT окружења или са различитим рачунарским системима, сервисима и апликацијама.

Бежичне сензорске мреже (енг. Wireless Sensor Networks - WSN) су једна од основних телекомуникационих технологија која се примјењује у реализацији IoT система. Овакве мреже се углавном састоје од тзв. "паметних" сензора, који имају могућност да аутономно прикупљају различите врсте података и шаљу их кроз мрежу према рачунарским системима и апликацијама за обраду података. Сензорски уређаји, као елементи ових мрежа, имају врло ограничено ресурсе у смислу процесорске снаге, расположиве меморије, снаге и домета радио-сигнала, напајања итд. То представља нарочит технички изазов, како у реализацији сензорских уређаја, тако и у реализацији њихове међусобне комуникације.

С обзиром на то да су чворови у WSN уређаји ограничених меморијских и процесних могућности, за практичне WSN примјене, а нарочито индустриске, од посебног значаја је тестирање функционалности, мјерење перформанси и друге анализе засноване на различитим сценаријима преноса података, топологијама мреже, режимима рада чворова и другим параметрима.

OpenMote хардверска платформа и OpenWSN протокол-стек представљају отворене IoT платформе нове генерације. OpenWSN протокол-стек је комплетан протокол-стек за индустриске IoT (ПоT) примјене, који је базиран на стандардизованим протоколима као што су IEEE802.15.4e TSCH (енг. Time-Slotted Channel Hopping), 6LoWPAN (енг. IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks), RPL (енг. Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks) и CoAP (енг. Constrained Application Protocol) и као такав представља референтни модел, тј. имплементацију протокол-стека за IoT. Посебан новитет који доносе ове платформе је коришћење технике фреквенцијског скакања која представља окосницу новог IEEE802.15.4e TSCH протокола. OpenWSN је прва отворена имплементација IEEE802.15.4e протокола који значајно побољшава поузданост и синхронизован рад мреже.

Предмет истраживања у овом раду је анализа и тестирање функционалности OpenMote хардверске платформе на бази OpenWSN протокол-стека и новог IEEE802.15.4e TSCH протокола, имплементираних у реалном окружењу, на основу параметара кашњења пакета - RTT (енг. Round Trip Time), губитка пакета и протока.

Поменути параметри за оцјену перформанси мреже су добијени експерименталним мјерењем саобраћаја у мрежи, коришћењем различитих тестова организованих у четири тестна сценарија. Тестови за мјерења су базирани на варирању параметара саобраћаја и параметара OpenWSN протокол-стека, са циљем да се добију релевантне метрике за оцјену перформанси мреже и одговарајуће IoT примјене.

3. АНАЛИЗА МАГИСТАРСКЕ ТЕЗЕ

Магистарска теза кандидата Драгана Васиљевића, под називом "Анализа перформанси OpenMote хардверске платформе у IoT примјенама", садржи 61 страну, 27 слика, 8 табела, 42 референце, прилог са пописом слика и табела, као и списак скраћеница кориштених у раду. Рад је организован у седам поглавља:

1. Увод
2. Преглед научних радова из области примјена OpenMote и OpenWSN платформи у IoT
3. Основне карактеристике WSN мрежа
4. OpenMote и OpenWSN платформе
5. Поставке за експериментална мјерења
6. Резултати мјерења и анализа
7. Закључак

У првој глави је дат преглед функционалних елемената IoT, концепта IoT архитектуре, актуелних хардверских и софтверских платформи у IoT примјенама, те увод у WSN и значај WSN у реализацији IoT концепта. У овој глави су укратко представљене OpenMote и OpenWSN платформе, предмет истраживања у раду и организација рада.

Друга глава садржи преглед научно-истраживачких радова из области примјена OpenMote и OpenWSN платформи у IoT. Будући да су истраживања базирана на овим платформама још увијек на самом почетку, прегледом је обухваћен већи дио радова који су били доступни, а односе се OpenMote и OpenWSN платформе. Један дио приказаних радова се бави могућностима примјене ових платформи у индустрији, као што су нпр. електро-енергетске мреже, авио-индустрија и системи аутоматског управљања у индустријским постројењима. Други дио радова се односи на истраживања и оцјену перформанси протокола који се користе у OpenWSN протокол-стеку и њиховом међусобном интеракцијом.

У трећој глави су описане основне карактеристике WSN. Дат је преглед различитих WSN мрежних топологија са кратким описом њихових особина. Представљене су хардверске карактеристике сензорских чворова и приказана је типична хардверска структура сензорских чворова, функционалности појединачних софтверских модула од којих се састоји софтвер за WSN чворове, као и комуникациони архитектура за WSN. Комуникациони архитектура је дата у виду генеричког протокол-стека са пет слојева и три управљачке равни.

Четврта глава садржи детаљан опис OpenMote и OpenWSN платформи. У оквиру OpenWSN протокол-стека је посебна пажња посвећена IEEE 802.15.4.e TSCH и 6TiSCH (енг. IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e) протоколима који чине окосницу овог протокол-стека и комплетне платформе. Дата је анализа ових протокола и указано на елементе њихове интеракције. Поред наведеног, описаны су механизми 6LoWPAN компресије IPv6 и UDP (енг. User Datagram Protocol) заглавља и начин на који је извршена интеграција OpenWSN протокол-стека са FreeRTOS оперативним системом у јединствену платформу.

Пета глава описује поставке и начин реализације експерименталних мјерења саобраћаја на основу којих је извршена оцјена перформанси. На основу анализе пропагационих карактеристика окружења у којима су извршена мјерења, реализован је низ тестних сценарија са циљем селекције оних који обезбеђују адекватан избор параметара за оцјену перформанси. Извршена су експериментална мјерења саобраћаја у мрежи на основу којих је дата оцјена перформанси OpenMote хардверске платформе на бази OpenWSN протокол-стека. Описан је начин генерирања саобраћаја у мрежи, параметри за опис OpenWSN протокол-стека, ограничења OpenWSN протокол-стека, типови коришћених тестова којима су реализована мјерења и њихова организација. У овој глави су дефинисане и метрике за оцјену перформанси WSN базираних на OpenMote и OpenWSN платформама: кашњење пакета - RTT, губици пакета и проток. Ове метрике су добијене на основу мјерења саобраћаја у мрежи.

У шестој глави су приказани резултати мјерења засновани на избраним метрикама за оцјену перформанси WSN мреже. Заједно са приказом резултата, извршена је и њихова анализа, тј. оцјена перформанси и понашања платформи у специфичним режимима рада.

Седма глава се односи на закључно разматрање у којем је дат резиме рада по поглављима и у којем су сумирани добијени резултати и наведене смјернице за даља истраживања у овој области.

4. ОЦЈЕНА И ДОПРИНОС МАГИСТАРСКЕ ТЕЗЕ

IoT представља нови еволутивни корак у развоју информационо-комуникационих мрежа, за који се предвиђа да ће обухватити све области нашег свакодневног живота. При томе, WSN представљају једну од кључних технологија за реализацију IoT, чији је интензиван развој започео паралелно са развојем IoT.

За WSN већ постоје развијени и стандардизовани комуникациони протоколи различитих слојева, који узимају у обзор ограничења у ресурсима сензорских уређаја. Међутим, и поред постојања појединачних стандардних протокола, врло је мало комплетних протокол-стекова који омогућавају потпуну комуникацију на свим слојевима. Већина постојећих протокол-стекова су затвореног типа и нису доступни широј научно-истраживачкој заједници. Могућност практичне примјене WSN у некој области зависи првенствено од тога да ли су тестирали сви потенцијални сценарији и параметри од интереса за евалуацију перформанси. Оцјена перформанси и анализа одређене WSN платформе је у овом раду заснована на практичним мјерењима у реалним условима и окружењу. OpenMote хардверска платформа, заједно са OpenWSN протокол-стеком, представљају IoT платформе нове генерације које, захваљујући својој отворености, омогућавају практичну евалуацију перформанси на основу резултата мјерења реалног саобраћаја у мрежи. Резултати добијени у раду су афирмативни и указују на могућност примјене ових платформи у реалним индустријским окружењима. Они се могу користити не само за оцјену перформанси OpenMote и OpenWSN платформи, него и бројним другим WSN IoT примјенама.

Узимајући у обзор резултате истраживања и спроведене анализе у оквиру рада, Комисија сматра да су најзначајнији сљедећи доприноси:

1. Будући да су истраживања базирана на овим платформама још увијек на самом почетку, прегледом научних радова у другој глави је обухваћена анализа доступних радова који се односе на OpenMote и OpenWSN платформе.
2. Детаљно је анализирана структура OpenWSN протокол-стека, као и механизми од значаја на сваком поједином слоју. Посебна пажња је посвећена новим IEEE 802.15.4.e TSCH и 6TiSCH протоколима који чине окосницу овог протокол-стека и комплетне платформе. Приказана анализа ових протокола и њихове међусобне повезаности је од суштинског значаја за разумијевање функционисања платформе, истраживања приказаних у овом раду, као и за даља истраживања у области индустријских IoT система.
3. На основу анализе пропагационих карактеристика окружења у којима су извршена мјерења, реализован је низ тестних сценарија са циљем селекције оних који обезбеђују адекватан избор параметара за оцјену перформанси у специфичним режимима рада и multihop конфигурацији. Извршена су експериментална мјерења саобраћаја у мрежи на основу којих је дата оцјена перформанси OpenMote хардверске платформе на бази OpenWSN протокол-стека коришћењем одговарајућих метрика за оцјену перформанси. Изабране су сљедеће метрике: кашњење пакета - RTT, губици пакета и проток. Експериментална мјерења саобраћаја у мрежи су обављена коришћењем различитих тестова организованих у четири тестна сценарија. Тим сценаријима су обухваћене различите комбинације параметра саобраћаја и OpenWSN протокол-стека. Параметри саобраћаја који су коришћени у тестовима су: удаљеност чворова у WSN мрежи од централног чвора, величина корисног садржаја (payload) пакета и период између два узастопно послата пакета. Детаљно су анализирани параметри TSCH протокола и OpenWSN протокол-стека, а селектовани су: дужина слотфрејма и број активних временских слотова.
4. Извршена је анализа добијених резултата мјерења, тј. оцјена перформанси и понашања платформи у специфичним режимима рада. Добијени резултати мјерења у реалном окружењу омогућавају анализу перформанси нове генерације IoT платформи и протокола и дају увид у могућности имплементације оваквог модела и начина преноса информација у индустријским IoT примјенама.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРИЈЕДЛОГ

На основу прегледа и анализе урађене магистарске тезе кандидата Драгана Васиљевића, дипл. инж. ел., под називом "Анализа перформанси OpenMote хардверске платформе у IoT примјенама", Комисија констатује да рад садржи све потребне елементе и резултате којима су остварени постављени циљеви истраживања. Кандидат је на бази теоријске анализе референтног протокол-стека у IoT верификовао перформансе OpenMote хардверске и OpenWSN софтверске платформе на основу избора одговарајућих метрика и реализованих практичних мјерења у реалним условима и окружењу.

На основу укупне оцјене, Комисија предлаже Наставно-научном вијећу Електротехничког факултета у Бањој Луци да усвоји овај Извјештај и одобри кандидату Драгану Васиљевићу, дипл. инж. ел., усмену јавну одбрану магистарске тезе под називом "Анализа перформанси OpenMote хардверске платформе у IoT примјенама".

У Београду и Бањој Луци, 24. мај 2017. године

Комисија:

Проф. др Мирјана Симић-Пејовић,
предсједник

Мирјана Симић - Пејовић

Проф. др Гордана Гардашевић, ментор

Гордана Гардашевић

Проф. др Бранко Блануша, члан

Бранко Блануша

Доцент др Славко Шајић, члан

Славко Шајић