

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду на својој седници од 05.07.2016. године именовало нас је за чланове Комисије за преглед и оцену магистарске тезе **Бојане Јаковљевић**, дипломираног инжењера електротехнике, под називом „**СИНХРОНИЗАЦИЈА ВРЕМЕНА У БЕЖИЧНИМ СЕНЗОРСКИМ МРЕЖАМА**“. Комисија је рад прегледала и има част да у у вези с тим поднесе Већу следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### Биографски подаци о кандидаткињи:

Бојана Јаковљевић је рођена 1980. године у Београду. Основну и средњу школу завршила је у Београду. Звање дипломирани инжењер електротехнике стекла је 2005. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, са просечном оценом 8.62, на Одсеку за телекомуникације. Исте године уписује постдипломске студије на Електротехничком факултету у Београду. На смеру телекомуникације и рачунарске мреже положила је све предвиђене испите.

Запослила се 2005. године у Телекому, Србија, где сада се бави планирањем сервиса. Учествовала је у увођењу савремених технологија; посебно ради на унапређењу М2М комуникација.

Кандидаткиња има два рада објављена у домаћем часопису и један рад на научно-стручној конференцији. Учествовала је у више техничких пројеката из области телекомуникационих и рачунарских мрежа.

#### Предмет и циљеви рада:

Са развојем М2М комуникација и области интернета ствари (IoT), употреба бежичних сензорских мрежа (БСМ) све више добија на значају. Напредак рачунарске технологије довео је до флексибилних и јефтних крајњих уређаја, што је довело до значајног проширења области примене, које укључују телеметрију, даљинско управљање, телемедицину, ауто индустрију, безбедност, роботiku, као веома разноврсне војне примене. Различите врсте мрежа и примена имплицирају специфичне захтеве у погледу размене података, што често доводи до посебних захтева у погледу синхронизације времена, односно потребно је да чворови у мрежи имају прецизну заједничку представу о времену. Проблем временске синхронизације привукао је велику пажњу истраживача, али још увек представља један од акутних отворених проблема, како теоријски, тако и практично, имајући у виду "multi-hop" природу комуникације у мрежи, појаву случајних кашњења у мрежи, постојање комуникационог и мерног шума, непредвидљиве губитке пакета и велику вероватноћу испада чворова. Иако су многи радови на конференцијама и у часописима посвећени управо овом проблему, а многи алгоритми имплементирани и мање или више успешно примењени у пракси, нити постоји свеобухватан преглед области, нити се искристалисало која решења су најбоља за специфичне примене.

За временску синхронизацију се користе различите методе, од којих је најједноставније, али и најскупље и често неизводљиво, решење да се сваки чвор опреми GPS пријемником, чиме се добија приступ координираном универзалном времену. Други приступ је заснован на уградњи хардверског сата у сваки чвор, при чему се за добијање заједничке представе о времену користи синхронизациони алгоритам, заснован на комуникацији оствареној унутар мреже.

У оквиру другопоменутог приступа синхронизацији, треба указати на тзв. "flooding based" методе, за које је карактеристично да се један чвор бира за референтни, са улогом да дисеминира информацију о времену кроз мрежу. Веома је значајна, посебно у послење време, имајући у виду значајан напредак у развоју мрежних алгоритама типа консензуса, класа дистрибуираних метода. Код дистрибуираних метода не постоји фузија података, нити референтни чвор, при чему је у свим чворовима у мрежи имплементиран исти алгоритам. Постоје многобројни предлози и имплементације дистрибуираних алгоритама синхронизације, али не постоји јасно дефинисан став о њиховим могућностима, посебно имајући у виду постојање случајних кашњења, као и комуникационог и мерног шума.

У овом раду посебна пажња је посвећена проблему синхронизације времена у бежичним сензорским мрежама, са циљем да се систематизују постојеће методе и да се да прецизнији увид у карактеристичне дистрибуиране методе, како у теоријском смислу, тако и кроз симулацију основних алгоритама. Рад треба да представља подлогу како за даља истраживања у разматраној области, тако и за реализације у инжењерској пракси.

## Анализа садржаја рада

Магистарски рад Бојане Јаковљевић садржи увод, три поглавља, закључак, прилог и списак референци.

Увод садржи не само преамбулу са основном одредницама, већ и посебне одељке посвећене општим особинама сензорских мрежа, мотивацији за рад, као и очекиваним доприносима. Обухваћени су OSI референтни модели, анализа кашњења порука, приказ хардверског сата, укључујући његово појачање и офсет, као и дефиниција логичког сата. Прецизно је указано на очекиване доприносе рада у светлу опште мотивације.

У првом делу рада извршена је класификација синхронизационих алгоритама и приказана компаративна анализа типова синхронизације у зависности од захтева и топологије БСМ. Обухваћене су како методе засноване на постојању референце, тако и дистрибуиране методе. Указано је на низ нових идеја, имајући у виду веома брз развој области и недостатак систематизованих прегледа. У првопоменутој класи, посебно су обрађене следеће методе: *Network Time Protocol (NTP)*, *Precision Time Protocol (PTP)*, *Reference Broadcast Synchronization (RBS)*, *Timing-sync Protocol for Sensor Networks (TPSN)*, *Lightweight Tree-based Synchronization (LTS)*, *Tiny-Sync* и *Mini-Sync*, *Flooding Time Synchronization Protocol (FTSP)* и *Delay Measurement Time Synchronization (DMTS)*. Код дистрибуираних метода обухваћене су оне код којих се комуникације у мрежи односе само на непосредне суседе (тзв. *first-hop neighbours*), са циљем да се реализује заједнички виртуелни сат. Посебно је извршена анализа градијентног алгорита *Gradient Time Synchronization Protocol (GTSP)*, алгорита *Average TimeSync (ATS)*, заснованог на примени PI управљачке стратегије, као и алгорита заснованог на примени динамичког консензуса.

Други део рада посвећен је компаративној анализи две актуелне класе дистрибуираних метода, извршеној користећи рачунарске симулације коришћењем специјално развијеног симулационог модела у *Matlab* окружењу. При томе, симулирана је мрежа од 10 чворова, при чему сви чворови имају различита појачања и различите офсете. Најпре су приказане особине ATS алгорита у детерминистичком контексту са тзв. псеудо периодичним *broadcast* комуникацијама, што одговара основној поставци у оригиналном раду. Даље су анализе извршене у контексту асинхроних *gossip* комуникација и у присуству мерног шума, што представља самостални допринос кандидаткиње. Друга класа анализираних алгоритама заснована је на консензусу, и не садржи непотребно процењивање тзв. узајамног појачања. Показано је да другопоменути приступ пружа значаје могућности у погледу даље робустификације и једноставније имплементације.

Закључак садржи концизан осврт на постигнуте резултате и дате доприносе.

У прилогу је дата теоријска анализа конвергенције анализираног ATS алгорита.

Списак референци садржи 40 наслова.

## Закључак и предлог

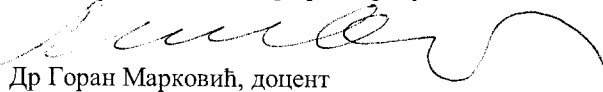
Имајући у виду све своје напред наведене ставове, Комисија констатује да резултати овог рада могу да се сматрају за самосталне, практично значајне и корисне доприносе научно-стручној области *мрежни мерно-управљачки системи (бежичне сензорске мреже)*, с обзиром да је дата систематска анализа постојећих метода и дат оригиналан допринос у симулационој анализи синхронизационог ATS алгорита у случају асинхроних комуникација и постојања мерног шума. Кандидаткиња је показала да може самостално да решава сложене инжењерске проблеме.

С обзиром на обим и сложеност истраживања, примењену методологију и постигнуте резултате, Комисија закључује да рад испуњава све услове који су потребни за магистарску тезу. Комисија предлаже Наставно-научном већу да рад кандидаткиње **Бојане Јаковљевић**, дипломираног инжењера електротехнике, под називом „**СИНХРОНИЗАЦИЈА ВРЕМЕНА У БЕЖИЧНИМ СЕНЗОРСКИМ МРЕЖАМА**“, прихвати као магистарску тезу и одобри усмену одбрану.

У Београду, 15. 08. 2016. године

Комисија за преглед и оцену рада,

Др Срђан Станковић, проф. емеритус



Др Горан Марковић, доцент



Др Милош Станковић, научни сарадник, Иновациони центар Електротехничког факултета

