

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА НОВИ САД

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију</p> <p>Решењем бр. 012-199/26-2018, од 27. 09. 2018. године, декан Факултета техничких наука, именовao је комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.</p> <p>2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. др Владимир Стрезоски, редовни професор, електроенергетика, 06.06.1995., Факултет техничких наука, Нови Сад, председник 2. др Драган Поповић, редовни професор, електроенергетика, 13.10.2004., Факултет техничких наука, Нови Сад, члан 3. др Душко Бекут, редовни професор, електроенергетика, 13.10.2004., Факултет техничких наука, Нови Сад, члан 4. др Лука Стрезоски, доцент, електроенергетика, 01.03.2018., Факултет техничких наука, Нови Сад, члан 5. др Александар Ранковић, ванредни професор, електроенергетика, 9.12.2015., Факултет техничких наука, Чачак, члан 6. др Андрија Сарић, редовни професор, електроенергетика, 01.01.2015., Факултет техничких наука, Нови Сад, ментор
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме:</p> <p>Немања, Драган, Живковић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава:</p> <p>04.09.1986., Нови Сад, Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив:</p> <p>Факултет техничких наука, Нови Сад, Енергетика, електроника и телекомуникације, Електроенергетика, Дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства - мастер</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:</p> <p>2011, Енергетика, електроника и телекомуникације</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:</p>

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Детекција малициозних напада на електроенергетски систем коришћењем синергије статичког и динамичког естиматора стања

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

У овој докторској дисертацији описани су основни алгоритми статичке и динамичке естимације стања, као и постојеће методе за детекцију и идентификацију лоших мерења у преносним и суб-преносним мрежама. Представљен је злонамерни (најчешће хакерски) напад којим се у систем инјектирају лоша мерења која се не могу идентификовати постојећим методама детекције и идентификације лоших мерења, заснованих на нормализованим резидуалима мерења. Оваквим нападима омогућен је директан утицај нападача на радни режим електроенергетског система. Разматран је најкритичнији сценарио у коме нападач добро познаје електроенергетски систем и има неограничен приступ/контролу над вредностима аналогних мерења (добијених са SCADA система). Докторска дисертација предлаже нову, специјализовану методу за детекцију оваквих напада у реалном времену, синергијом статичког и динамичког естиматора стања. Предложена метода заснива се на поређењу естимираних вредности променљивих стања добијених из статичког естиматора стања (заснованог на методи минимума суме пондерисаних квадрата одступања променљивих) са једне стране, и оних добијених из динамичке естимације стања методом 'Unscented Kalman Filter' (UKF), са друге стране. У предложеном динамичком естиматору стања, у оквиру корака предикције, коришћена је оригинално креирана матрица транзиције, добијена на основу резултата краткорочне прогнозе потрошње и производње, као и економског диспечинга традиционалних генератора.

Примена и ефикасност предложеног алгоритма детекције злонамерних напада верификована је на тест моделима две преносне електроенергетске мреже различите величине.

Докторска дисертација се састоји из следећих поглавља:

1. Увод
2. Статичка WLS естимација стања
3. Динамичка естимација стања
4. Малициозни напади на естиматор стања инјектирањем лоших мерења
5. Примена
6. Закључак
7. Литература

Физички опис рада: 7 поглавља, 104 стране, 82 цитата, 4 табеле и 19 слика.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У уводу је сажето представљен предмет истраживања докторске дисертације и дат преглед актуелне литературе из разматране области, на основу којег читалац може да стекне знања неопходна за разумевање материје којом се кандидат бави. У овој глави такође су објашњени основни мотиви збох којих је спроведено истраживање и укратко наведени главни циљеви који су постављени у истраживању.

У глави 2 описан је алгоритам статичке естимације стања методом минимума суме пондерисаних квадрата одступања мерених од естимираних вредности. Објашњен је појам променљивих стања, набројани су карактеристични типови мерења у електроенергетским системима (укључујући фазорска мерења) и укратко су изложени основни кораци статичке естимације стања. Посебна пажња пружена је техникама за детекцију и идентификацију лоших мерења које се углавном заснивају на нормализованим резидуалима мерења.

У глави 3 представљени су основни алгоритми динамичке естимације стања, почевши од естиматора за праћење променљивих стања, преко линеарног динамичког естиматора стања, да би највећи акценат био стављен на нелинеарни динамички естиматор стања. У овој глави дата је и оригинална метода креирања транзиционе матрице корака предикције на основу краткорочне прогнозе потрошње и производње, као и економског диспечинга традиционалних генератора. Описане су и 'a priori' и 'a posteriori' детекција и идентификација лоших мерења у оквиру овог типа естимације стања.

У глави 4 прво је објашњен начин извођења злонамерног (малициозног) напада инјектирањем лоших мерења на линеарни естиматор стања, да би потом био описан напад истих карактеристика на нелинеарни естиматор стања. Јасно је изложено зашто овај тип напада не могу да детектују постојеће (у претходним поглављима описане) методе детекције и идентификације лоших мерења. Дат је и критички осврт на практичну изводљивост оваквих софистицираних напада, имајући у виду ресурсе којима је неопходно да нападач располаже како би успешно извео напад. Затим је изложен метод детекције злонамерних напада на бази поређења нормализованих резидуала променљивих стања, да би коначно био представљен свеобухватан алгоритам детекције оваквих напада у реалном времену.

У глави 5 извршена је верификација предложеног алгоритма на тест моделима две преносне мреже различитих величина: једне мање од 14 чворова и веће од 300 чворова. Симулирани су режими електроенергетског система и резултати детекције постојања лоших мерења за случајеве са и без злонамерних напада. Анализирана је осетљивост предложеног алгоритма детекције на грешку транзиционог процеса (односно на грешку краткорочне прогнозе), као и на интензитет напада (модуо циљане промене променљиве стања од стране нападача). Резултати представљених анализа указују на успешност и ефикасност предложеног алгоритма у детекцији злонамерних напада.

У глави 6 дати су закључци докторске дисертације и могући правци будућег рада у предметној области.

На крају докторске дисертације (у глави 7) дат је списак коришћене литературе.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

1. N. Živković, A. T. Sarić, „Detection of False Data Injection Attacks Using Unscented Kalman Filter,“ *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 6, no. 5, pp. 847-859, September 2018. (M22)

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Злонамерни (малициозни) напади на естиматор стања инјектирањем лоших мерења ('False Data Injection Attack' – FDIA) представљају озбиљну претњу за савремене електроенергетске системе, чије се управљање све више ослања на информациону и телекомуникациону инфраструктуру. У докторској дисертацији је систематично објашњено како постојеће (традиционалне) методе за детекцију и идентификацију лоших мерења нису у стању да детектују овај тип напада, односно идентификују компромитована мерења. Разлог се налази у чињеници да је већина традиционалних метода детекције заснована на поређењу нормализованих резидуала мерења са одговарајућим прагом. Нападач (хакер) који добро познаје електроенергетски систем у смислу модела мреже, њене конективности и актуелног режима, у стању је да промени тачно одређен подскуп мерења за прецизно прорачунате вредности и тако утиче на вредност променљивих стања без активирања тестова детекција постојања лоших мерења, а који се заснивају на нормализованим резидуалима мерења. У овој докторској дисертацији предложен је иновативни алгоритам, способан за детекцију оваквих напада у реалном времену, за најкритичнији случај нападача који у потпуности познаје електроенергетски систем и има неограничен приступ ресурсима (мерењима у систему).

Представљени алгоритам базира се на синергији статичке естимације стања (методом минимума суме пондерисаних квадрата одступања мерених од естимираних вредности ('Weighted Least Square' – WLS) са једне, и динамичке естимације стања (методом 'Unscented Kalman Filter' – UKF), са друге стране. Детекција постојања напада врши се поређењем нормализованих резидуала променљивих стања добијених помоћу ова два алгоритма естимације стања, са одговарајућим прагом. Детекција злонамерних напада на предложени начин могућа је услед ублаженог/одложеног утицаја малицизне промене на естимирани вектор променљивих стања добијен из динамичке естимације стања, за случај квалитетно одређене транзиционе матрице која се користи у кораку предикције. У докторској дисертацији је за формирање претходно поменути транзиционе матрице предложена оригинална метода, која се заснива на краткорочној прогнози производње и потрошње, односно економском диспечингу у случају традиционалне производње. Паралелни избор статичке естимације стања WLS методом огледа се у чињеници да је она 'de facto' стандардно примењена у готово свим комерцијалним софтверским пакетима за управљање преносним мрежама, где се доказала кроз дуги низ година употребе и континуалних унапређења. За разлику од динамичке естимације стања, малициозно инјектирани вектор напада у WLS алгоритму одмах и у потпуности се осликава на променљивама стања, чиме настаје мерљива разлика естимираних вредности из ова два алгоритма.

Низ симулација на два тест система (преносне мреже различите величине) извршен је са циљем верификације предложеног алгоритма детекције, односно демонстрације утицаја малициозних напада на електроенергетски систем. Прва преносна мрежа са мањим бројем чворова коришћена је у едукативне сврхе, односно ради једноставнијег праћења режима система без и са злонамерним нападима, док је друга, већа мрежа коришћена за различите анализе осетљивости. Резултати свих спроведених анализа недвосмислено доказују практичну употребљивост предложеног алгоритма за детекцију FDIA у реалном времену, у оквиру комерцијалних софтверских пакета. За очекивани опсег вредности грешке краткорочне прогнозе производње и потрошње, и интензитет напада који може резултовати озбиљнијим проблемима у оперативном управљању електроенергетским системом, представљени алгоритам у стању је да детектује напад и алармира оператора система у довољно дугом временском периоду да се предузму одговарајуће превентивне акције.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Докторском дисертацијом су свеобухватно, систематично и коректно:

- 1) описани алгоритми статичке и динамичке естимације стања, као и актуелне методе за детекцију и идентификацију лоших мерења у оквиру истих, са акцентом на немогућност ових метода да детектују злонамерне нападе инјектирањем лоших мерења;
- 2) предложен је оригиналан метод за конструкцију транзиционе матрице корака предикције динамичке естимације стања, а на основу краткорочне прогнозе потрошње и производње;

- 3) предложен је тест детекције злонамерних напада поређењем нормализованих резидуала променљивих стања;
- 4) предложен је нови алгоритам детекције злонамерних напада инјектирањем лоших мерења у реалном времену који се заснива на синергији статичког и динамичког естиматора стања;
- 5) примењен је предложени алгоритам на репрезентативним тест системима и нумерички показана његова ефикасност и стабилност;
- 6) дати су закључци и даљи могући правци истраживања.

Тумачење закључака је јасно, недвосмислено и истраживачки коректно. Сви добијени резултати су стављени у добар контекст и приказани прегледно.

Текст дисертације додатно је проверен путем софтвера за детекцију плагијаризма iThenticate и нису пронађене сличности које би указивале на било какву врсту плагијаризма.

Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

Дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Докторска дисертације објашњава немогућност постојећих метода детекције и идентификације лоших мерења да детектују злонамерне нападе инјектирањем лоших мерења, који су и поред своје софистицираности практично изводљиви. Она предлаже оригинални алгоритам за детекцију оваквих напада у реалном времену, користећи синергију статичког и динамичког естиматора стања. Додатно, у кораку предикције динамичке етимације стања предложена је нова метода формирања транзиционе матрице на бази краткорочне прогнозе потрошње/производње. С обзиром на резултате нумеричких анализа који недвосмислено потврђују ефикасност предложеног алгоритма за случајеве очекиваног (просечног) квалитета краткорочне прогнозе и интензитета напада, а који може нанети значајну штету у електроенергетском систему, предложени алгоритам може се оценити адекватним за детекцију разматраног типа напада у преносним мрежама.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Докторска дисертација нема недостатака који би имали утицај на остварене резултате истраживања.

X ПРЕДЛОГ:
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
<p>- <u>да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана</u></p> <p>На основу претходно изнетих чињеница, Комисија предлаже да се докторска дисертација под називом „Детекција малициозних напада на електроенергетски систем коришћењем синергије статичког и динамичког естиматора стања“ кандидата Немање Живковића прихвати и кандидату одобри одбрана.</p>

др Владимир Стрезоски, ред. проф., председник

др Драган Поповић, ред. проф., члан

др Душко Бекут, ред. проф., члан

др Лука Стрезоски, доцент, члан

др Александар Ранковић, ванр. проф., члан

др Андрија Сарић, ред. проф., ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.