

## РЕЦЕНЗИЈА

НА ДОКТОРСКАТА ДИСЕРТАЦИЈА ПОД НАСЛОВ „ПОДОБРУВАЊЕ НА БЕЗБЕДНОСТА НА ИОТ КОМУНИКАЦИЈАТА СО АНАЛИЗА НА МРЕЖНИ СКРИЕНИ КАНАЛИ“ ИЗРАБОТЕНА ОД М-Р АЛЕКСАНДАР ВЕЛИНОВ, ПРИЈАВЕНА НА ФАКУЛТЕТ ЗА ИНФОРМАТИКА ПРИ УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ ВО ШТИП

Со Одлука број 0206-504/3 од 23.8.2021 година донесена на 62. седница (електронска) на Наставно-научниот совет на докторски студии на Кампус 2 (биотехнички науки, техничко-технолошки и природно-математички науки) при Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип, одржана на 23.8.2021 година, формирана е Комисија за оценка и одбрана на докторската дисертација под наслов „Подобрување на безбедноста на IoT комуникацијата со анализа на мрежни скриени канали“ пријавена и изработена од кандидатот м-р Александар Велинов, во состав:

- проф. д-р Зоран Здравев, претседател,
- проф. д-р Александра Милева, интерен ментор, член,
- проф. д-р Весна Димитрова, екстерен ментор, член,
- проф. д-р Цвета Мартиновска-Банде, член и
- проф. д-р Митко Богданоски, член.

Комисијата во наведениот состав, по прегледувањето на докторската дисертација, го поднесува следниов

## ИЗВЕШТАЈ

**Анализа на трудот**

Докторската дисертација со наслов „Подобрување на безбедноста на IoT комуникацијата со анализа на мрежни скриени канали“ пријавена и изработена од м-р Александар Велинов, асистент-докторанд на Факултетот за информатика при Универзитетот „Гоце Делчев“ во Штип е напишана на 148 страници, на А4 формат, со вкупно 42 слики, 11 табели и 2 прилога.

Дисертацијата ги опфаќа следните поглавја: Вовед, Мрежни скриени канали и нивни шеми, Интернет на нештата (IoT) и протоколи кај IoT, Скриени канали кај CoAP протоколот, Скриени канали кај протоколот MQTT верзија 3.1.1, Скриени канали кај протоколот MQTT верзија 5.0 и Заклучок.

Во воведот дадени се кратка анализа на постоечките трудови од областа и кратки објаснувања на основните поими како: мрежно криење на информации и скриени канали со нивна примена. Во овој дел се презентирани целите на истражувањето, главните придобивки, како и краткиот преглед на содржината.

Второто поглавје дава преглед на основните видови на мрежни скриени канали, како и на постоечката таксономија на шеми за мрежни скриени канали со кои истите се класифицираат. Овде е потенциран и првиот придонес на докторската дисертација – нова потшема PT.15 – Artificial Retransmissions.

Третото поглавје е посветено на Интернет на нештата (IoT), со објаснување на поимот, складот со протоколи и 3-слојната архитектура што се користат.

Следните три поглавја се најважниот дел од докторската дисертација, бидејќи во нив се презентирани главните истражувачки резултати. Четвртото поглавје го опишува CoAP протоколот и ги претставува новите шест складирачки и два временски скриени канали, како и предложените противмерки. Дополнително, претставена е експериментална евалуација на еден од скриените канали кај CoAP.

Петтото поглавје го опишува MQTT протоколот верзија 3.1.1 и го претставува основниот системски модел за скриена комуникација. Претставени се новите шест директни и седум индиректни скриени канали, категоризирани според шемите за мрежни скриени канали, како и предложените противмерки. Дополнително извршена е имплементација и експериментална евалуација на еден од индиректните канали со мерките: пропусен опсег, неоткривање и робустност.

Во шестото поглавје е даден краток опис на MQTT протоколот верзија 5.0, и претставени се новите 18 директни и 5 индиректни скриени канали, со соодветно предложени противмерки. Дополнително извршена е имплементација и експериментална евалуација на еден од индиректните канали со мерките: пропусен опсег, неоткривање и робустност.

Седмото поглавје ги сублимира сите постигнати резултати со оваа докторска дисертација и изведува јасни, прецизни и правилни заклучоци. Дополнително, поглавјето дава насоки за идни истражувања.

Дополнително, докторската дисертација содржи резиме на македонски и на англиски јазик, дел за користена литература со вкупно 97 референци за научни извори со слична проблематика и два прилога со кодот од имплементацијата на еден скриен канал кај протоколот MQTT.

### **Предмет на докторската дисертација**

Предмет на докторската дисертација „Подобрување на безбедноста на IoT комуникацијата со анализа на мрежни скриени канали” на кандидатот м-р Александар Велинов се три мрежни протоколи кои денес интензивно се користат за комуникација кај Интернет на нештата (IoT), и тоа: CoAP, MQTT v3.1.1 и MQTT v5.0. Притоа е дадена сеопфатна анализа на нови мрежни скриени канали кај нив, која вклучува откривање на мрежни скриени канали, нивна категоризација, како и експериментална евалуација на дел од нив. Истата овозможува подобрување на безбедноста на IoT уредите и нивната комуникација, бидејќи вклучува и предлог на противмерки со активни и пасивни чувари и санитизација на влез, се со цел детектирање, лимитирање и/или спречување на скриените канали.

Темата е од исклучително научна и апликативна важност, модерна и доста актуелна, посебно ако се земе предвид постојаното зголемување на бројот на IoT уреди, кој се предвидува дека до 2025 година ќе биде 75 милијарди, како и постојаното загрозување на нивната безбедност и извршените напади од страна на разни поединци и хакерски групи. Последните извештаи на антивирусните компании покажуваат тенденција на зголемување на користењето на техниките за криење на информации и скриени канали кај новиот злонамерен код, посебно во комуникацијата со неговите творци и во неговото ширење.

### **Цели и нивна разработка**

Целите на истражување во оваа докторска дисертација се:

- Откривање на нови мрежни скриени канали кај протоколите: CoAP, MQTT верзија 3.1.1 и MQTT верзија 5.0;
- Имплементација и експериментална евалуација на некои од предложените скриени канали за да се потврди нивната изводливост;
- Испитување на пропусниот опсег кој се обезбедува со даден имплементиран скриен канал;
- Испитување на неоткривањето на даден скриен канал;
- Испитување на робусноста и да се види како таа влијае на толкувањето на пораките на приемната страна;
- Предлог на противмерки за новите скриени канали.

Овие цели во целост се реализирани со извршени експерименти, соодветно добиени и интерпретирани резултати и изведени правилни заклучоци.

### **Научен придонес**

Оригиналниот научниот придонес на докторската дисертација се состои во извршена безбедносна анализа на три IoT протоколи: CoAP, MQTT v3.1.1 и MQTT v5.0, која вклучува првпат испитување на нивната подложност за креирање на мрежни скриени канали, како и предлагање на соодветни противмерки. Добиените резултати укажуваат на фактот колку

едноставно може да се злоупотребат IoT протоколите и нивните соодветни онлајн веб сервиси и легитимниот мрежен сообраќај за вметнување на скриени пораки, но, од друга страна, истите тие скриени канали може да се искористат за различни добри примени, како подобрување на квалитетот на сервис, заобиколување на цензурирања, безбеден менаџмент на мрежната комуникација итн.

Докторската дисертација изработена под менторство на проф. д-р Александра Милева, редовен професор на Факултетот за информатика при Универзитетот „Гоце Делчев“ во Штип, како интерен ментор и проф. д-р Весна Димитрова, редовен професор на Факултет за информатички науки и компјутерско инженерство, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје, како екстерен ментор е успешно завршена. Трудот е оригинален и јасно напишан, а целокупната содржина заедно со добиените резултати и изведените заклучоци е јасно и концизно презентирани. Докторскиот труд има како научно, така и апликативно значење, бидејќи предложените противмерки може да се имплементираат во иднина во активни и пасивни чувари, како составен дел на постоечките MQTT брокери или на некој мрежен уред сместен на истата мрежа каде се наоѓа и самиот брокер.

## ЗАКЛУЧОК И ПРЕДЛОГ

Комисијата за оценка и одбрана детално ја разгледа докторската дисертација со наслов „Подобрување на безбедноста на IoT комуникацијата со анализа на мрежни скриени канали“ на кандидатот м-р Александар Велинов, асистент-докторанд на Факултет за информатика при Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип и донесе заклучок дека истата претставува оригинален, самостоен, прецизно дефиниран, јасно оформен научен труд со систематски разработена проблематика и оригинални научни истражувања и резултати. Докторската дисертација врз основа на содржината, обемот и постигнатото ниво на квалитет на научна работа ги задоволува и исполнува условите потребни за изработка на докторска дисертација.

Потврда за научната тежина на темата се и објавените оригинални научни трудови од дисертацијата во реномирани меѓународни научни списанија и конференции, меѓу кои два се во списанија со фактор на влијание (IEEE Access (IF=3.367 за 2020, Q2) и Computers & Security (IF=4.438 за 2020, Q1)).

Врз основа на претходно изнесеното, Комисијата има чест да му предложи на **Наставно-научниот совет на докторски студии на Кампус 2 да ја прифати позитивната рецензија на докторската дисертација со наслов „Подобрување на безбедноста на IoT комуникацијата со анализа на мрежни скриени канали“ на кандидатот м-р Александар Велинов и да одобри јавна одбрана на истата.**

## РЕЦЕНЗЕНТСКА КОМИСИЈА

**Д-р Зоран Здравев**, претседател,  
редовен професор на Факултет за информатика,  
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип, с.р.

**Д-р Александра Милева**, интерен ментор,  
член, редовен професор на Факултет за информатика,  
Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип, с.р.

**Д-р Весна Димитрова**, екстерен ментор, член,  
редовен професор на Факултет за информатички  
науки и компјутерско инженерство, УКИМ – Скопје, с.р.

**Д-р Цвета Мартиновска-Банде**, член,  
редовен професор на Факултет за информатика,  
Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип, с.р.

**Д-р Митко Богданоски**, член,  
редовен професор на  
Воена академија „Генерал Михајло Апостолски“ - Скопје, с.р.