

## КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 16.04.2024. године именовало нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Лазара Југовића под насловом „Естимација респираторног и срчаног ритма фреквентно модулисаним континуираним таласним радарским системом применом адаптивног нелинеарног филтрирања”. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Биографски подаци кандидата

Лазар Југовић је рођен 14.12.1999. године у Ужицу. Завршио је Основну школу „Слободан Секулић” у Ужицу као вуковац и ђак генерације, а затим уписао Ужичку гимназију у Ужицу коју је завршио са одличним успехом и поновном Вуковом дипломом. Електротехнички факултет уписао је 2018. године и дипломирао је на одсеку за Сигнале и системе 2022. године са дипломским радом на тему „Оптимизација избора фазе у континуалном фреквенцијски модулисаним радарским системима за препознавање стања особа“ и просечном оценом 9.17. Мастер студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду на модулу за Сигнале и системе уписао је у октобру 2022. године. Положио је све испите са просечном оценом 10.00.

#### 2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидат Лазар Југовић је као припрему за израду мастер рада урадио истраживање релевантне литературе која се односи на област којој припада тема мастер рада. Конкретно, анализирани су различити радарски системи који омогућавају бесконтактну детекцију виталних сигнала. Истраживањем области утврђено је да су фреквентно модулисани континуирани таласни радарски системи (енг. *Frequency Modulated Continuous Wave, FMCW*) компактни, веома мале масе, енергетски ефикасни и подржавају обраду у реалном времену, што их чини поузданијим у односу на друге радарске системе за клиничке примене. Такође, прегледана су постојећа решења алгоритама за естимацију респираторног и срчаног ритма применом *FMCW* радара и уочени су изазови примене тих алгоритама у реалном времену. Стога је за циљ мастер рада дефинисана естимација респираторног и срчаног ритма применом адаптивног нелинеарног филтрирања у приближно реалном времену.

#### 3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 47 страна од чега прилог обухвата 3 стране, са укупно 39 слика, 2 табеле и 35 референце. Рад садржи увод, 3 поглавља и закључак (укупно 5 поглавља), списак коришћене литературе, списак скраћеница, списак слика, списак табела и један прилог.

Прво поглавље представља увод у коме су описане предности коришћења радарских система за мерење виталних знакова у односу на контактне системе, дат је преглед различитих алгоритама за естимацију дисања и откуцаја срца применом радарских система с посебним освртом на примену *FMCW* радара.

У другом поглављу је описана поставка експеримента у коме су паралелно снимљени *FMCW* сигнали и референтни сигнали (респираторна крива и електрокардиографски сигнал) који су били доступни за обраду у оквиру овог мастер рада. Описан је и коришћени хардвер

током експеримента, као и принципи рада *FMCW* радара. У оквиру овог поглавља је описан и имплементиран алгоритам естимације респираторног и срчаног ритма из претпроцесираних *FMCW* сигнала. На крају поглавља је описан и начин естимације референтних сигнала, а дефинисане су и метрике за евалуацију имплементираног алгоритма.

Треће поглавље приказује резултате евалуације имплементираног алгоритма за естимацију срчаног ритма и респираторног ритма код шест испитаника. Приказани су резултати само за сегменте снимања када су референтни сигнали били доброг квалитета, и одвојено су приказани резултати када је снимљени радарски сигнал био са и без шума. На примерима појединих испитаника су илустровани и естимирани сигнали респираторног и срчаног ритма настали као резултат имплементираног алгоритма.

У четвртом поглављу су детаљно дискутовани резултати поређења екстрахованих параметара из радарског сигнала у односу на референтне сигнале дисања и откуцаја срца, уз поређење са резултатима из литературе.

Пето поглавље је закључак у оквиру кога су сумирани доприноси рада, дата закључна разматрања и предложени кораци у будућем раду.

У прилогу су приказани сигнали настали као резултати имплементираног алгоритма за детекцију виталних знакова, респираторног и срчаног ритма, за остале испитанике који нису приказани у трећем поглављу.

#### **4. Анализа рада са кључним резултатима**

Мастер рад дипл. инж. Лазара Југовића се бави естимацијом респираторног и срчаног ритма применом *FMCW* радарског система.

У оквиру мастер рада су коришћени доступни подаци снимљени на одраслим испитаницима у лежећој позицији током мировања (позиција *FMCW* радара је испод испитаникових леђа, на растојању од 35 cm, тип коришћеног радара је *FMCW AWR1843, Texas Instruments, САД*). Доступни референтни сигнали респираторне криве и електрокардиографског сигнала су снимљени *Wearable Wellness System-ом (WWS, Smartex, Пиза, Италија)*. *FMCW* подаци су претпроцесирани на следећи начин: применом брзе Фуријеове трансформације и *Blackman*-овог прозора, множењем калибрационим коефицијентима, уклањањем статике применом *leaky* интегратора, применом кохерентног усредњавања радарског сигнала и баферовањем. Потом су примењени следећи кораци: детекција мете у максималном *range* бину, фазна модулација и споро-променљива фазна корелација. За естимацију респираторног ритма су даље примењени филтар пропусник опсега, адаптивни метод нелинеарних најмањих квадрата и интерполација, а за естимацију срчаног ритма су примењени рачунање фазне разлике, филтрација пропусником опсега, адаптивно *Notch* филтрирање, адаптивна метода нелинеарних најмањих квадрата и Калманов филтар. Подаци са референтног система су претпроцесирани применом функција за детекцију *R* пикова у срчаном сигналу и локалних максимума у респираторном сигналу, са циљем екстракције референтног респираторног и срчаног ритма. Корен средње квадратне грешке и Бланд Алтманова анализа су коришћени за евалуацију резултата алгоритма. За имплементацију алгоритама и анализу резултата су коришћена програмска окружења *Matlab 2022a (Mathworks, САД)* и *Python 3.10.11*.

Главни допринос овог мастер рада је развој, имплементација и валидација алгоритма за естимацију респираторног и срчаног ритма применом нелинеарног адаптивног филтрирања *FMCW* радарских сигнала, погодног за примену у приближно реалном времену.

#### **5. Закључак и предлог**

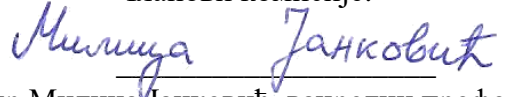
Кандидат Лазар Југовић је у свом мастер раду успешно развио и имплементирао алгоритам за естимацију респираторног и срчаног ритма који користи сигнале снимљене помоћу *FMCW* радара. Предложена методологија може значајно да унапреди могућности детекције виталних сигнала на за испитаника удобан, безконтактни начин.

Кандидат је показао самосталност у упознавању и истраживању теме, систематичност и иновативност у реализацији истраживања, као и презентовању својих резултата.

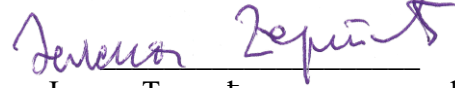
На основу изложеног, Комисија предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да рад **дипл. инж. Лазара Југовића** прихвати као мастер рад и кандидату одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 19.08.2024. године

Чланови комисије:



др Милица Јанковић, ванредни професор



др Јелена Тертић, ванредни професор