



РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд

за присъждане на научната степен „доктор на науките”

Автор на дисертационния труд: проф. д-р инж. Марин Беров Маринов

Тема на дисертационния труд: **„ИНТЕЛИГЕНТНИ СЕНЗОРНИ СИСТЕМИ ЗА ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ”**

Област на висше образование: 5. Технически науки, Професионално направление: 5.2. Електротехника, електроника и автоматика; Научна специалност: „Методи, преобразуватели и уреди за измерване и контрол на физико-химични и биологични величини”

Подготвил: проф. д-р инж. Никола Вичев Колев, дн.

1. АКТУАЛНОСТ НА РАЗРАБОТВАНИЯ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД ПРОБЛЕМ И ОСНОВАНИЯ ЗА ЗАЩИТАТА МУ

Темата на дисертационния труд е актуална за електронизацията на измерванията и оценката на основни параметри на околната среда защото е безспорно изискването за активно развитие и приложение на сензорни системи за обективно измерване и оценка на неелектрически величини в областта на метеорологията и околната среда. Като цяло разработката има пряко приложение при електронизацията на биологичните и екологичните изследвания, свързани с околната среда.

Антропогенната дейност причинява замърсяване на въздуха, водата и на почвата, което пряко влияе и върху климата. Затова има нарастващ интерес към състоянието на опазването на околната среда и вниманието на обществото се фокусира към все по-задълбочено изучаване на средата и оценка на редица физични, химични и биологични фактори, които отрицателно ѝ влияят. Събраните данни и информация са необходими за изследователите и за специалистите, формиращи решения за обществото като цяло с цел промени, необходими за запазване и поддържане на здравословна среда за поколенията.

Резултатите от изследванията по дисертацията позволяват да се предложат нови подходи, методи и структури на сензорни системи с подобрени технически характеристики. Не са много дисертациите в тази област на знанието и се надявам тази дисертация да има добър прием в научните среди.

Изследванията са разпределени в три основни раздела: 1. изследване, основано на интелигентни системи за мониторинг на качеството на въздуха; 2. интелигентни



системи за мониторинг на водите и почвата; 3. интелигентни системи за мониторинг /на шумови параметри и на технически обекти.

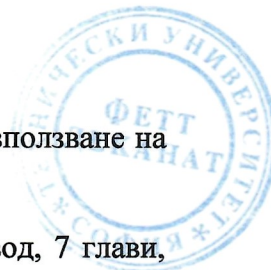
От прегледа на подготвената от дисертанта таблица за минималните изисквания за правото на защита, съгласно Правилника на ТУ – София, се вижда, че проф. Марин Маринов е постигнал резултати, които му дават право да поиска да се разкрие процедура за защита на подготвената от него дисертация за присъждане на научната степен „доктор на техническите науки”, а именно от изискуеми минимум 350 точки - той е постигнал 2862 точки, което многократно надхвърля този минимум.

2. СТЕПЕН НА ПОЗНАВАНЕ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ПРОБЛЕМА И ТВОРЧЕСКА ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ЛИТЕРАТУРНИЯ МАТЕРИАЛ:

В оценката на състоянието на изследваната област е направен критичен преглед на съществуващи системи за мониторинг на околната среда, използвани за различни приложения.

Целта на труда, според мен, е разработка на нискобюджетни интелигентни сензорни системи и IoT устройства за мониторинг на основни параметри на въздушна среда, питейни води, почва и шумови замърсявания в урбанизирани среди, която да се постигне със синтез на съвременни подходи, методи и алгоритми за сливане и повишаване качеството на данни от тези системи.

За изпълнение на дефинираната цел дисертантът си е поставил няколко по-важни задачи, включващи: анализ на съществуващи интелигентни сензорни системи и на тяхната базова архитектура; дефиниране на основни характеристики на интелигентните сензорни системи и IoT устройства в съвременните реализации и организиране на експериментално измерване на параметри на основните замърсители на въздух, вода, почва и на шум в урбанизирани среди; изследване на точността на нискобюджетни сензори за измерване на концентрациите на основни замърсители на околната среда и намиране на подходи за филтриране на сензорни данни в устройства с ограничени ресурси; подходи и методи за линеаризиране на сензорни предавателни характеристики и намиране на обобщено решение на задачата за линеаризиране на предавателни характеристики от произволен вид; създаване на нови интелигентни сензорни системи и тестването на алгоритми и програмни среди в реални условия; използване на безпилотни летателни апарати и други автономни транспортни средства за документиране и картографиране на нива на замърсявания в труднодостъпни райони; предлагане на подходи за обработка на сензорни данни и прилагане на алгоритми,



използващи изкуствен интелект и на методи за управление на ресурси с използване на безжични интерфейси.

Дисертационният труд е с обем от 411 страници и се състои от увод, 7 глави, приноси, списък на използвана литература, включваща над 440 източника и 5 приложения, като включва 213 фигури и 42 таблици.

3. СЪОТВЕТСТВИЕ НА ИЗБРАНАТА МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕ С ПОСТАВЕНАТА ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД С ПОСТИГНАТИТЕ ПРИНОСИ

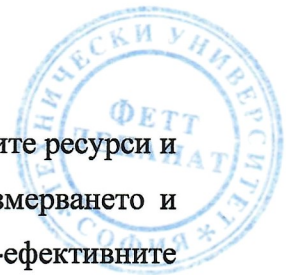
Разработките в областта на дисертационния труд, включени в публикациите на автора, датират от 2004 година и обхващат над 15 годишен период. Те са правилно методически построени с последователност, която осигурява положителни решения на поставените задачи.

Проф. Маринов развива идеята за изследване на създадени вече интелигентни сензорни системи и предлага нов структурен подход за разработка и реализация на интелигентни устройства, които да използват нискобюджетни сензори и микроконтролери с ограничени ресурси. За различни предназначения те трябва да са мобилни, да поддържат безжична комуникация и да позволяват широкообхватен мониторинг с висока времева и пространствена разделителна способност. От анализа следва, че с нискобюджетните сензори и подходящи алгоритми, реализирани върху микроконтролери с ограничени ресурси, могат да се постигнат задоволителни точности на измерванията, особено в по-тесни обхвати, които са важни за оценка на контролираните параметри на околната среда.

Анализирани са спецификата на интелигентни сензорни системи за мониторинг на околната среда и съвременните тенденции в развитието им и са обосновани нелинейни оптимизационни задачи, възникващи при метода за полилинеаризация и е предложен подход за оценка на шумови параметри на сензори и на методи, и алгоритми за повишаване точността на сензорни данни. Предложени са нови методи за локализация и откриване на обекти и числени алгоритми за калибриране и повишаване на точността на устройствата за екологичен мониторинг. Анализирани са нов стохастичен подход за оценка на параметри на сензори и са предложени методи и алгоритми за повишаване точността на сензорни данни.

4. КРАТКА АНАЛИТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

В първа глава дисертантът прави извод, че влагайки време и ресурси, повечето проблеми и източници на грешки при измерването могат да бъдат идентифицирани,



оценени, а в много случаи - и коригирани. Рядко се разполага с необходимите ресурси и възможности за пълно идентифициране и корекция на грешките при измерването и затова той предлага подход за сливане на сензорни данни като един от най-ефективните методи за подобряване качеството на данните. Това се постига чрез използване на множество сензори, които събират информация от географски разпределени места, което значи, че са пространствено разпределени.

Във втора глава е представено актуалното състояние на изследванията на чистотата на приземния въздух. Разгледани са съвременни сензори и технологии при реализация на системи за мониторинг. Дадени са определения на основните замърсители на въздуха и се предлагат индекси за оценка на качеството на въздуха.

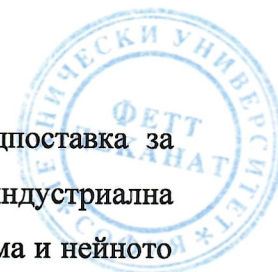
Трета глава е посветена на теоретичната рамка на методите за повишаване на точността и подобряване на качеството на сензорни данни, получени при широкомащабен мониторинг. В тази глава са представени и изследвания на някои от методите, като е акцентирано на оценка на полето на тяхната приложимост и на ефективността и на възможностите за разширяване на тяхното приложение. Разгледани са подходи за оценка на метрологични параметри на сензори при конвенционални и мрежови приложения. Тук са представени разработки на сензорни системи за основните области, в които са провеждани изследванията и са показани някои представителни резултати.

В тази глава е разгледан и въпросът за коригиране на грешки на сензорните системи, като редица техники включват хибридни методи за оценка и повишаване точността на сензорни данни, които съчетават няколко метода за откриване и оценка.

Авторът предлага като подходяща алтернатива сливането на сензорни данни. То се налага като един от най-ефективните методи за подобряване качеството на данните.

Изборът на модела за калибриране се определя до голяма степен от величините, които трябва да бъдат измерени, от използваните сензори и от ресурсите за изчисляване, съхраняване и комуникация на сензорния модул. За калибриране се използват по-сложни математически подходи, което изисква увеличаване на ресурсите на сензорните модули.

За разширяване на обхвата на изследванията проф. Маринов включва и разработки на методи и алгоритми за повишаване точността на сензорни данни и реализации на интелигентни сензорни системи. В изследването се разглеждат перспективите за прилагане на нов подход за изследване на микрофизичните параметри на кръвта и предложен подход за неинвазивно наблюдение на хематокрита на кръвта.



Позиционирането на мобилни системи с висока точност е предпоставка за интелигентно автономно поведение както в полевата роботика, така и в индустриална среда. С изследването авторът цели създаването на роботизирана платформа и нейното използване за тестване и оценка на конфигурациите на филтъра на Калман. Конфигурацията се реализира с помощта на мобилен робот Husky A200 и сензор LiDAR. С тях са тествани филтрите по отношение на точността на определяне на позицията на обекти и за установяване на тяхната ефективност.

Предложеният подход за анализ на надеждността може да се използва за характеризиране на шума на други видове сензори, след подлагане на различни въздействия и при използване в реални условия. Нискобюджетните сензори за качество на въздуха и за измерване на атмосферни параметри са многообещаваща алтернатива за измерване на важни параметри на качеството на въздуха. Те се основават на технологии, които позволяват измервания в реално време. Точността на тези нискобюджетни сензори трудно може да бъде гарантирана, тъй като те често се намират в тежки условия и са по-податливи на въздействието на околната среда, в сравнение с измервателните устройства от висок клас. Дисертантът твърди, че за повишаване на качеството на данните, получени от нискобюджетни сензори, трябва да бъдат използвани съвременни методи, които да позволят разширяването на областите на приложение на тези сензори. Ограничената точност на нискобюджетните сензори, а оттук и на устройствата, реализирани на тяхна основа, обикновено изискват значителни разходи за калибриране и поддръжка.

Авторът предлага широк спектър от модели за калибриране и за корекция на грешките при измерване в сензорните мрежи. Тези модели са подходящи за висококачествени референтни измервания при предварително познаване на истинския сигнал или грешката.

В четвърта глава обект на изследване са сензорни системи за мониторинг на качеството на въздуха на открито и закрито и на системи за пречистване на въздуха.

Представен е нов подход за реализацията на мултисензорни модули чрез използване на амперометрични, оптични и недисперсни инфрачервени газови сензори. Основните предимства на този тип сензори са тяхната сравнително висока точност и селективност, ниска консумация на енергия и ниска цена.

Разработеният сензорен възел за мониторинг на качеството на въздуха представлява цялостна система за мониторинг и запис на данни в реално време и може да се използва за измерване на концентрацията на замърсители на въздуха, като CO ,



CO_2 , NO_2 . В допълнение се измерват основни физически параметри - атмосферно налягане, температура, относителна влажност и концентрация на O_2 . С помощта на разработения в дисертацията мултисензорен модул за мониторинг на качеството на въздуха са проведени редица тестове в реално време в градската зона на София.

Технологиите, използващи безпилотни летателни апарати (БЛА), са обект на научни изследвания от много години насам. Със своята мобилност и способност да летят на различни височини, безпилотните летателни апарати могат да компенсират някои недостатъци на безжичните сензорни мрежи и да предложат алтернативен подход за събиране на данни. Това е особено важно при изследване на замърсяването на въздуха, което се променя рязко дори на сравнително малки разстояния в хоризонтална и вертикална посока.

Изследванията в четвърта глава и резултатите от тях са свързани с реализация на мултисензорна система на базата на амперометрични сензори за измерване на основни параметри на въздуха в урбанизирана среда и на интелигентни мултисензорни модули за онлайн наблюдение на параметри на въздуха. Предложената мобилна мониторингова система е в състояние да измерва с висока честота на дискретизация, което позволява получаването на резултати с висока степен на достоверност.

В пета глава се анализират средства за оценка на качеството на водата, включително и на питейната и се предлагат интересен метод и виртуална система за анализ на пречистена вода, която е икономически ефективна, универсална и може да обработва и регистрира мултисензорни данни. Тази система позволява онлайн наблюдение и регистриране на физикохимични параметри на различни водни разтвори.

Подкрепям твърдението на дисертанта, че системата може да се разшири с допълнителни сензори, например сензор за окислително-редукционен потенциал, сензор за поток, сензор на мътност и др., които да осигурят по-широко приложение.

Дисертантът засяга и въпроса за използване на микрофлуидните устройства, които работят с малки по обем проби и малки количества реагенти, което ги прави едновременно ефективни и достъпни. Такива малки обекти обаче имат много високи изисквания към използваната система за оптично разпознаване. Тези микросистеми имат голям потенциал за прилагане в биологията, химията и медицината, както и в други области на науката. Показана е възможност да се създаде специализиран микроскоп, с който да се демонстрира, че наблюдението с микрофлуидни устройства може да се извършва успешно при значително по-ниска цена. Основното предимство на предложеното устройство е, че то предлага на крайния потребител гъвкавост за



разнообразна модификация на основните му части, а също и разширяване на функционалността му при необходимост.

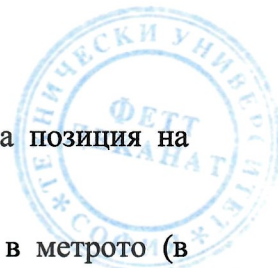
В тази глава се отделя внимание и на съвременните нискобюджетни проксимални сензори и технологии за мониторинг на почва, които се използват за бързо измерване на свойствата на почвата в малък район или в определени точки на полето. Този сензори са компактни и мобилни, което позволява лесно пренасяне в различни места в полето за измерване на влажност и на други параметри на почвата. Типичните параметри, които могат да се измерват с нискобюджетните проксимални сензори за мониторинг на почва, включват влажността, електрическата проводимост, плътността, pH стойността и хумусното съдържание на почвата.

В дисертационния труд са оценени три вида нискобюджетни сензори, които могат да се използват за измерване на влажността на почвата. Недостатъкът им е необходимостта от периодично калибриране, което се дължи на промените в някои параметри на сензора, както и на колебанията в концентрациите на елементи в почвата.

Съвременните нискобюджетни проксимални сензори за мониторинг на почва могат да бъдат свързани към мобилни приложения или устройства, което позволява бърза и удобна обработка на данните. Те предоставят в реално време информацията, което помага при нови технологии за мониторинг на почва и подобрява ефективността на земеделските практики.

Мониторингът на свойства на почвите цели да се осигури информация за състоянието на почвените ресурси и да се гарантира здравето на екосистемите. С влошаването на замърсяването на околната среда и нарастването на антропогенните натоварвания върху почвите, прецизният и ефективен мониторинг на качеството на почвите става неотложен.

В шеста глава се описва разработването на мобилна безжична система за измерване на шумови нива, която използва платформата Raspberry Pi 3 и нискобюджетни електронни компоненти. Изследването на функционалността на модулите при дългосрочни тестове показва, че предлаганият подход осигурява добра основа за мониторинг и създаване на карти за нивата на шум в урбанизирана среда, Системата разполага и с възможност за отдалечено управление от централен компютър, на който е инсталиран специализиран софтуер за дистанционна поддръжка и обслужване от разстояние. Комуникацията между елементите в така изградената структура се извършва чрез стандартни интернет протоколи. Заедно с основната



програма се стартира и програма за определяне на точната географска позиция на измервателната система.

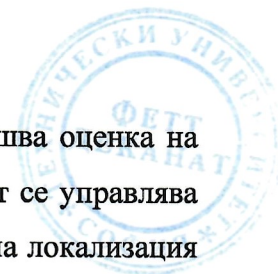
В дисертацията са включени резултати от изследване на шума в метрото (в територията на станция на перона и във вагон), според които този тип система може да се ползва за оценка на шумови показатели в транспортната система на метрото или на ЖП съставите, както и на трамвайни и автобусни линии.

Платформата и методите, избрани от дисертанта за разработване на софтуер за мобилна система за мониторинг на шума, предлагат редица предимства. Най-важните от тях са универсалност, ниска цена на компонентите и лесно интегриране на крайното устройство в съоръжения на открито, което го прави част от сензорна мрежа като модул. Представена е разработка, която предлага метод за получаване на познати и широко използвани акустични параметри за количествено определяне на шума.

Проведено е изследване, което е насочено към проектирането и внедряването на интелигентни сензорни устройства тип "plug-and-play" в асансьори, които улесняват неинвазивното им инсталиране, интегрирана обработка и съхранение на данни, които могат да предоставят подробна информация за състоянието на асансьора. Представен е от автора съвременен подход за оценка на основни параметри за мониторинг на състоянието на асансьори. Описаната схема за обработка на сигналите на неинвазивната автономна сензорна система е интегрирана в различни видове асансьори и се подлага на различни полеви тестове. Въз основа на получените данни, може да се приложи прогнозна поддръжка и да се намали времето за престой.

В седма глава се обсъжда прецизно позициониране на мобилните сензорни системи, което е предпоставка за тяхното автономно поведение, както в индустриална среда, така и на открито. Един подход за решаване на проблема с локализацията е използването на глобална навигационна спътникова система, в която измерванията се обединяват във филтрираща програма, за да се оцени глобалната позиция на системата.

Дисертантът предлага едновременна оценка на състоянието на робот, оборудван с бордови сензори, и изграждане на модел на възприеманата от тези сензори среда, в която се предлага едновременно локализиране и картографиране. То се състои от паралелно изграждане на модел на средата и оценка на положението на робота, който се движи в нея. Описаните компоненти на системата са свързани чрез разпределена компютърна архитектура. Комуникацията между отделните компоненти се осъществява чрез ROS (Robot Operating System). Управляващият компютър на робота Husky получава данните от контролера и ги предава на актуаторите на робота чрез



контролер. Пасивният компютър получава данни от сензорите и извършва оценка на позицията на робота и карта със съответните SLAM алгоритми. Роботът се управлява ръчно чрез компютър и управляваща конзола за да се оцени процесът на локализация и картографиране.

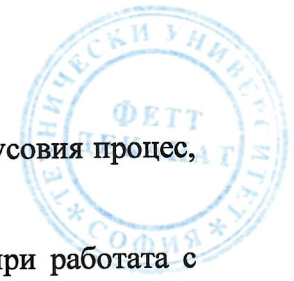
Мобилната платформа и нейният софтуерен пакет, базиран на отворен код, се допълват с алгоритми или сензори и точно отразяват предвидените приложения за интелигентна логистика, наблюдение с полеви работи или системи за подпомагане на домакинствата. В дисертацията се показват превъзходството на избрания подход по отношение на изчислителното натоварване и натоварването на паметта, както и лесното включване и използване на допълнителни сензори. Проведените експерименти с изследваната система ясно показват ефикасността и отличните възможности на автономния робот за разглежданите приложения.

В дисертационния труд е разработен нов подход за синхронизиране и калибриране на камера и инерционен измервателен модул в ориентираната към изследвания визуално-инерционна рамка за картографиране и локализиране Matlab. Картографирането и локализирането се основават на откриването на някои характеристики на околната среда. В допълнение към възможността за създаване на карти при единично преминаване, разгледаните алгоритми позволяват повишаване на точността на картографиране и получаване на широкообхватни карти. Предварителните резултати показват, че след подходящо калибриране и синхронизиране Matlab може да се използва ефективно за картографиране, особено в помещения на малки сгради.

Напоследък областта на дълбокото машинно обучение претърпя бързо израстване и даде възможност да се използва ефективно за решаване на разнообразни приложения. То демонстрира по-висока производителност в сравнение с утвърдените техники за машинно обучение в многобройни области, като киберсигурност, обработка на естествен език, биоинформатика, сензорика, роботика и управление, както и обработка на медицинска информация.

За да се създаде карта на магнитното поле от траекторията на движение на робот, съществуват различни методи за интерполация. Matlab предлага функцията `griddata` за интерполация на функциите чрез предварително дефинирана мрежа.

За да се създаде карта от няколко серии от измервания, необходимо е сливане на измерените стойности. То може да се извърши или чрез многократно пускане в дадена среда само на един робот, или чрез едновременно пускане на повече роботи в средата. В случай на интерполация с Гаусови процеси, това сливане се осъществява като всички



измервания със съответната неопределеност могат да се добавят към Гаусовия процес, като данни за обучение.

В резултат на изследванията и въз основа на опита, натрупан при работата с Matlab, от дисертанта са разработени различни сценарии за приложение. Една от възможностите е автоматичното следване на предварително програмирани траектории в сгради. Разработката на система за проследяване с БЛА показва, че е възможно реализирането на приложение за откриване и позициониране на обекти в реално време.

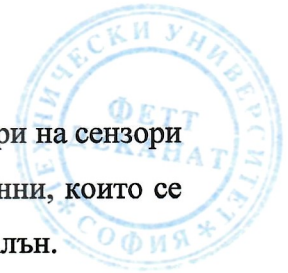
Изследвана е приложимостта на характеристиките на локалните магнитни полета за по-точно определяне на местоположението на субекти или обекти в закрити помещения. Резултатите показват, че нискобюджетните сензори за магнитни полета и мобилни роботизирани платформи могат да се използват за създаване на карти, които подобряват точността и надеждността на навигацията на закрито.

5. НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Приемам формулираните от дисертанта приноси, като подчертавам, че те са добре обосновани и ги съобщавам, както следва:

Научни приноси:

1. Предложени са нов адаптивен алгоритъм и обобщен подход за линейно апроксимиране на сензорни характеристики и за линейна интервална апроксимация, с които се решава задачата за линеаризация на сензорни характеристики, представляващи диференцируеми функции с постоянен знак на кривината. Новост е гарантирането на зададено ниво на грешката от линеаризация.
2. Предложен е иновативен подход за полигонална апроксимация на несамопресичащи се сензорни характеристики (предавателни функции), зададени в точков или аналитичен вид.
3. Обосновани са две алтернативни нелинейни оптимизационни задачи, възникващи при полилинеаризацията и е предложен подход за оценка на шумови параметри на сензори и на методи и алгоритми за повишаване точността на сензорни данни.
4. Предложени са нови методи за локализация и откриване на обекти и числени алгоритми за калибриране и повишаване на точността на устройства за екологичен мониторинг.



5. Предложен е нов стохастичен подход за оценка на шумови параметри на сензори и на методи и алгоритми за повишаване точността на сензорни данни, които се основават на използването на Средно-квадратично отклонение на Алън.

Научно-приложни приноси

1. Разработена е експериментална постановка за изследване на филтри на Калман, свързани със сливането на данни и оценка на ефективността им и са предложени за краткосрочно прогнозиране на облачно покритие и възможностите за прогнозиране на добива на енергия от фотоволтаични централи;
2. Разработени са система за навигация, реализирана на базата на конволюционни невронни мрежи за автономно шофиране и система за откриване и проследяване на обекти с използване на безпилотни летателни апарати, която е реализирана на базата на детектора YOLO;
3. Разработени са интелигентни сензорни системи за мониторинг на параметри на въздух, питейна вода, почва и на шум в урбанизирани среди.
4. Разработени са мултисензорни системи и мащабируеми мобилни сензорни системи за мониторинг на основни параметри на въздуха на базата на нискобюджетни сензори и контролери с ограничени изчислителни ресурси.
5. Разработени са сензорни системи за изследване на специфичните параметри на въздуха на закрито.
6. Разработени са сензорен модул, който позволява лесна интеграция на устройството в изследвани среди, и система за оценка на качеството на водна среда на базата на колориметрични методи.
7. Разработени са сензорна система за измерване на влажността на почвата и мултисензорна система за мониторинг в областта на земеделието, като е използвана микрофлуидика за оценка на биологични параметри на водни среди.
8. Разработени са мобилни безжични системи за измерване и картографиране на основни шумови параметри.
9. Предложени са подходи за сливане на сензорни данни с използването на акселерометри и са реализирани сензорни системи, използващи вградено машинно обучение.
10. Реализирана е експертна система за диагностика на неизправностите в металорежещи машини с цифрово управление и е предложена индустриална платформа за IoT;



11. Реализирани са сензорни системи за едновременна локализация и картографиране, използващи инерциални модули, одометрия и 3D LiDAR и визуално-инерциална система, използваща сливане на данни за подобряване на точността при локализация.

12. Предложен е подход за използване на магнитни сензори за картографиране на помещения.

Формулираните от дисертанта приноси с дисертационния труд спадат към създаване на нови методи, модели и средства, и получаване на нови и потвърдителни факти и данни и затова, според мене, имат характер на научни и на научно-приложни.

6. ОЦЕНКА ЗА СТЕПЕНТА НА ЛИЧНОТО УЧАСТИЕ НА ДИСЕРТАНТА В ПРИНОСИТЕ

Познавам лично проф. Маринов и творческата атмосфера, в която той работи в катедра „Електронна техника“. Той е завършил магистратура и докторантура в Университета в Илменау, Германия.

От прочетеното в дисертацията оценявам, че дисертантът използва за обосновка теоретическия анализ и експериментите по разработките, а представянето на резултатите в реномирани международни научни списания и в няколко научни форума доказват активното му присъствие в научния живот на Техническия университет. Това ми дава основание да приема, че разработките са лично дело на дисертанта.

7. ПРЕЦЕНКА НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Дисертационният труд на проф. Маринов е построен върху 64 научни публикации, основна част от които в реномирани издания в Scopus (49). Публикациите по дисертацията отразяват основните части на разработката и са добре обосновани, аналитични и завършени. В 4 от публикациите проф. Маринов е единствен автор. Разработките по дисертацията са публикувани в реномирани научни издания като: Annual Journal of Electronics; Електроника Е+Е; 39th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE); 40th International Spring Seminar on Electronic Technology (ISSE); Proceedings of Technical University-Sofia; Micromachines; Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering на Springer; Electronics, Energies 2021; Sensors 2022/23, Computation 2022/23 и др.

Авторът е забелязал 275 цитирания на негови публикации, основно от чуждестранни учени и специалисти.

Нямам общи публикации с дисертанта и не съм свързано лице с него по смисъла на параграф 1, т. 5 от Допълнителните разпоредби на ЗРАСРБ.



Не открих елементи на плагиатство в материалите по дисертацията.

Може да се приеме, че резултатите от дисертацията са добре познати на научната общност у нас и в чужбина, тъй като основна част от публикациите са включени в реферирани научни списания с импакт фактор, а малка част - доклади от рецензирани сборници на международни научни конференции.

8. ИЗПОЛЗВАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД В НАУЧНАТА И СОЦИАЛНАТА ПРАКТИКА

В дисертацията са включени резултати от сравнителни измервания на параметри на околната среда с такива от измервания с референтни мобилни и стационарни системи на Изпълнителната агенция по околна среда към МОСВ. Приложените в изследването методики, програмни среди и резултати от измервания представляват елемент от научната част на степента „доктор на науките”.

Подготвил е учебник за студентите от магистърския курс на Университета по “Електронни системи за екологичен мониторинг”.

9. ОЦЕНКА НА СЪОТВЕТСТВИЕТО НА АВТОРЕФЕРАТА С ИЗИСКВАНИЯТА ЗА ИЗГОТВЯНЕТО МУ

Прочетох внимателно автореферата и приемам, че той представя добре текста на дисертацията. Авторефератът е в изисквания от Правилника обем, отразява съдържанието на дисертационния труд и представя приносните му елементи.

10. МНЕНИЯ, ПРЕПОРЪКИ И БЕЛЕЖКИ:

- 1) В първа глава има текстове, които звучат като за учебник.
- 2) В много от фигурите, включени в дисертацията, надписите са на английски език, а е добре да са на български.
- 3) Аз имам съмнения за оценката на съдържанието на почвения хумус, споменат в глава 5, понеже той е съвкупност от почвени вещества и елементи и е трудно да се опрадели кои от тях се измерват.
- 4) В текста на дисертацията, освен в първа глава се цитират автори, което затруднява читателя да реши кое е новото в дисертацията.
- 5) Липсва заключение в края на дисертационния труд.

11. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подкрепям изложеното съдържание на дисертацията и формулираните в нея приноси, и като оценявам положително резултатите от разработката на дисертационния труд на тема “ИНТЕЛИГЕНТНИ СЕНЗОРНИ СИСТЕМИ ЗА ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ” по научна специалност „Методи,

ФЕТТ 75-НС2-066

преобразуватели и уреди за измерване и контрол на физико-химични и биологични величини” и приносните елементи на труда за теорията и практиката на електронизацията на измерванията в околната среда, предлагам на Научното жури да вземе решение да се присъди на проф. д-р инж. Марин Беров Маринов научната степен “Доктор на техническите науки”.



26.02.2024 г.



(н)

проф. д-р инж. Никола В. Колев, д.н.





REVIEW

of a dissertation for awarding the scientific degree "Doctor of Sciences"

Author of the dissertation: Prof. Dr. Eng. Marin Berov Marinov

Dissertation topic: "INTELLIGENT SENSOR SYSTEMS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING"

Field of higher education: 5. Technical sciences, Professional direction: 5.2. Electrical engineering, electronics and automation; Scientific specialty: "Methods, converters and devices for measuring and controlling physico-chemical and biological quantities"

Prepared by: Prof. Dr. Eng. Nikola Vichev Kolev, DrSci.

1. RELEVANCE OF DEVELOPMENTS IN THE DISSERTATION PROBLEM AND GROUNDS FOR ITS DEFENSE

The topic of the dissertation is relevant for the electronicization of measurements and assessment of basic environmental parameters because the requirement for active development and application of sensor systems for objective measurement and assessment of non-electrical quantities in the field of meteorology and the environment is indisputable.

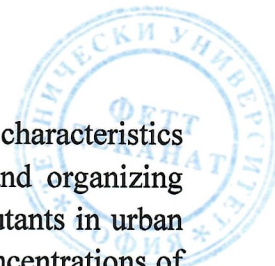
In general, the development has a direct application in the electronic of biological and ecological studies related to the environment. Anthropogenic activity causes air, water and soil pollution, which directly affects the climate. Therefore, there is a growing interest in the state of environmental protection and the attention of society is focused on an ever deeper study of the environment and assessment of a number of physical, chemical and biological factors that negatively affect it. The collected data and information are necessary for researchers and for professionals forming decisions for society as a whole in order to make changes necessary to preserve and maintain a healthy environment for generations.

The results of the dissertation research allow to propose new approaches, methods and structures of sensor systems with improved technical characteristics. There are not many dissertations in this field of knowledge and I hope this dissertation will be well received in scientific circles. Research is divided into three main sections: 1) research based on intelligent air quality monitoring systems; 2) intelligent water and soil monitoring systems; 3) intelligent systems for monitoring noise parameters and technical objects.

From the review of the table prepared by the dissertation on the minimum requirements for the right of defense, according to the Rules of TU - Sofia, it can be seen that Prof. Marin Marinov has achieved results that give him the right to request that the procedure for the defense prepared by him be disclosed dissertation for the award of the scientific degree "Doctor of Technical Sciences", namely from the required minimum of 350 points - he achieved 2862 points, which many times exceeds this minimum.

2. DEGREE OF KNOWLEDGE OF THE STATE OF THE PROBLEM AND CREATIVE INTERPRETATION OF THE LITERARY MATERIAL:

In the assessment of the status of the study area, a critical review of existing environmental monitoring systems used for various applications is made. The goal of the work, in my opinion, is the development of low-budget intelligent sensor systems and IoT devices for monitoring basic parameters of the air environment, drinking water, soil and noise pollution in urban environments, to be achieved with a synthesis of modern approaches, methods and algorithms to merge and improve the quality of data from these systems. To fulfill the defined goal, the hor of the dissertation has set several more important tasks, including: analysis of



existing intelligent sensor systems and their basic architecture; defining basic characteristics of intelligent sensor systems and IoT devices in modern implementations and organizing experimental measurement of parameters of the air, water, soil and noise pollutants in urban environments; investigating the accuracy of low-cost sensors for measuring concentrations of major environmental pollutants and finding approaches to filter sensor data in resource-limited devices; approaches and methods for linearization of sensor transmission characteristics and finding a generalized solution to the problem of linearization of transmission characteristics of arbitrary type; creation of new intelligent sensor systems and the testing of algorithms and programming environments in real conditions; using drones and other autonomous vehicles to document and map pollution levels in hard-to-reach areas; proposing approaches for processing sensor data and applying algorithms using artificial intelligence and resource management methods using wireless interfaces.

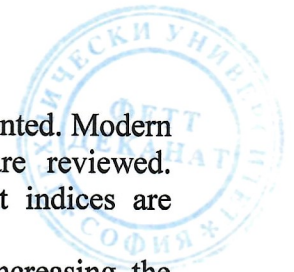
The dissertation has a volume of 411 pages and consists of an introduction, 7 chapters, contributions, a list of references, including over 440 sources, and 5 appendices, including 213 figures and 42 tables.

3. CORRESPONDENCE OF THE CHOSEN RESEARCH METHODOLOGY WITH THE PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE DISSERTATION WITH THE ACHIEVED CONTRIBUTIONS

The developments in the field of dissertation work, included in the author's publications, date from 2004 and cover a period of more than 15 years. They are properly methodically built with a sequence that provides positive solutions to the tasks set. Prof. Marinov develops the idea of researching already created intelligent sensor systems and offers a new structural approach for the development and implementation of intelligent devices that use low-budget sensors and microcontrollers with limited resources. For different purposes, they must be mobile, support wireless communication and allow wide-ranging monitoring with high temporal and spatial resolution. From the analysis, it follows that with low-cost sensors and appropriate algorithms implemented on microcontrollers with limited resources, satisfactory measurement accuracies can be achieved, especially in narrower ranges, which are important for the estimation of controlled environmental parameters. The specifics of intelligent sensor systems for environmental monitoring and the modern trends in their development are analyzed, and nonlinear optimization tasks arising in the polylinearization method are justified, and an approach is proposed for the evaluation of noise parameters of sensors and methods, and algorithms for increasing accuracy of sensor data. New methods for object localization and detection and numerical algorithms for calibrating and increasing the accuracy of environmental monitoring devices are proposed. A new stochastic approach to sensor parameter estimation is analyzed and methods and algorithms are proposed to increase the accuracy of sensor data.

4. BRIEF ANALYTICAL CHARACTERISTICS OF THE DISSERTATION

In the first chapter, the author of the dissertation that with the investment of time and resources, most problems and sources of measurement error can be identified, evaluated, and in many cases corrected. The necessary resources and capabilities to fully identify and correct measurement errors are rarely available, and therefore he proposes a sensor data fusion approach as one of the most effective methods to improve data quality. This is achieved by using multiple sensors that collect information from geographically distributed locations, meaning they are spatially distributed.



In the second chapter, the current state of ground air cleanliness research is presented. Modern sensors and technologies in the implementation of monitoring systems are reviewed. Definitions of the main air pollutants are given and air quality assessment indices are proposed.

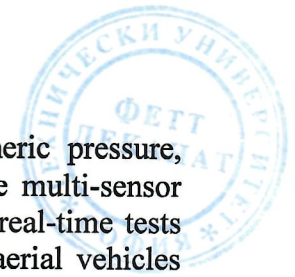
The third chapter is devoted to the theoretical framework of methods for increasing the accuracy and improving the quality of sensor data obtained during large-scale monitoring. In this chapter, studies of some of the methods are also presented, emphasizing the evaluation of the field of their applicability and effectiveness and the possibilities of expanding their application. Approaches to evaluate metrological parameters of sensors in conventional and networked applications are reviewed. Sensor system developments are presented here for the main areas where research has been conducted and some representative results are shown. This chapter also addresses the issue of error correction of sensor systems, with a number of techniques including hybrid methods for estimating and improving the accuracy of sensor data that combine several detection and estimation methods. The author suggests sensor data fusion as a suitable alternative. It is emerging as one of the most effective methods for improving data quality. The choice of calibration model is largely determined by the quantities to be measured, the sensors used, and the computing, storage, and communication resources of the sensor module. For calibration, more complex mathematical approaches are used, which requires an increase in the resources of the sensor modules. To expand the scope of research, Prof. Marinov also includes the development of methods and algorithms for increasing the accuracy of sensor data and implementations of intelligent sensor systems.

The research examines the prospects for applying a new approach to the study of blood microphysical parameters and a proposed approach for non-invasive monitoring of blood hematocrit. High-precision positioning of mobile systems is a prerequisite for intelligent autonomous behavior in both field robotics and industrial environments. With the research, the author aims to create a robotic platform and use it to test and evaluate Kalman filter configurations. The configuration is implemented using a Husky A200 mobile robot and a LiDAR sensor. With them, the filters were tested in terms of the accuracy of determining the position of objects and to establish their effectiveness. The proposed reliability analysis approach can be used to characterize the noise of other types of sensors, after exposure to various impacts and in real-world use.

Low-cost sensors for air quality and for measuring atmospheric parameters are a promising alternative for measuring important air quality parameters. They are based on technologies that allow real-time measurements. The accuracy of these low-cost sensors can hardly be guaranteed, as they are often found in harsh environments and are more susceptible to environmental influences than high-end measuring devices. The dissertation claims that in order to increase the quality of data obtained from low-budget sensors, modern methods should be used to allow the expansion of the areas of application of these sensors. The limited accuracy of low-budget sensors, and hence of the devices implemented on their basis, usually require significant costs for calibration and maintenance. The author proposes a wide range of models for calibration and for the correction of measurement errors in sensor networks. These models are suitable for high-quality reference measurements when the true signal or error is known in advance.

In the fourth chapter, sensor systems for outdoor and indoor air quality monitoring and air purification systems are the subject of research. A new approach for the realization of multi-sensor modules by using amperometric, optical and non-dispersive infrared gas sensors is presented. The main advantages of this type of sensors are their relatively high accuracy and selectivity, low power consumption and low cost

The developed air quality monitoring sensor node is a complete real-time monitoring and data recording system and can be used to measure the concentration of air pollutants such as CO ,



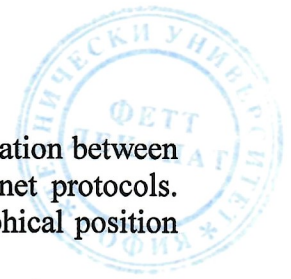
CO_2 , NO_2 . In addition, basic physical parameters are measured - atmospheric pressure, temperature, relative humidity and concentration of O_2 . With the help of the multi-sensor module for air quality monitoring developed in the dissertation, a number of real-time tests were carried out in the urban area of Sofia. Technologies using unmanned aerial vehicles (UAVs) have been the subject of scientific research for many years. With their mobility and ability to fly at different altitudes, UAVs can compensate for some of the shortcomings of wireless sensor networks and offer an alternative approach to data collection. This is especially important when studying air pollution, which changes sharply even over relatively small distances in the horizontal and vertical directions.

The research in the fourth chapter and their results are related to the implementation of a multisensor system based on amperometric sensors for measuring basic air parameters in an urbanized environment and intelligent multisensor modules for online monitoring of air parameters. The proposed mobile monitoring system is able to measure with a high sampling frequency, which allows obtaining results with a high degree of reliability.

In the fifth chapter, means for assessing the quality of water, including drinking water, are analyzed and an interesting method and a virtual system for the analysis of purified water are proposed, which is economically efficient, universal and can process and register multi-sensor data. This system allows online monitoring and recording of physicochemical parameters of various aqueous solutions.

I support the thesis statement that the system can be extended with additional sensors, eg redox potential sensor, flow sensor, turbidity sensor, etc., to provide wider application. The dissertation also touches on the issue of using microfluidic devices that work with small volume samples and small amounts of reagents, which makes them both efficient and affordable. However, such small objects have very high demands on the optical recognition system used. These microsystems have great potential for applications in biology, chemistry, and medicine, as well as in other fields of science. An opportunity to create a specialized microscope is shown to demonstrate that observation with microfluidic devices can be successfully performed at a significantly lower cost. The main advantage of the proposed device is that it offers the end user flexibility for various modification of its main parts and also expansion of its functionality as needed. This chapter also focuses on modern low-cost proximal sensors and soil monitoring technologies that are used to rapidly measure soil properties in a small area or at specific points in the field. These sensors are compact and mobile, which allows easy portability to different locations in the field to measure moisture and other soil parameters. Typical parameters that can be measured with low-cost proximal soil monitoring sensors include soil moisture, electrical conductivity, density, H_p value and humus content. The thesis evaluated three types of low-cost sensors that can be used to measure soil moisture. Their disadvantage is the need for periodic calibration, which is due to changes in some sensor parameters, as well as fluctuations in the concentrations of elements in the soil. Modern low-budget proximal sensors for soil monitoring can be connected to mobile applications or devices, which allows fast and convenient data processing. They provide real-time information that helps with new soil monitoring technologies and improves the efficiency of farming practices. The monitoring of soil properties aims to provide information on the state of soil resources and to guarantee the health of ecosystems. As environmental pollution worsens and anthropogenic loads on soils increase, precise and effective monitoring of soil quality becomes urgent.

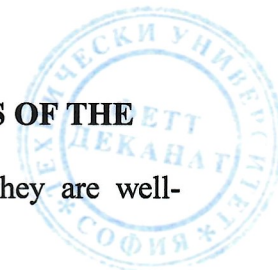
The sixth chapter describes the development of a mobile wireless noise level measurement system that uses the Raspberry Pi 3 platform and low-cost electronic components. The study of the functionality of the modules in long-term tests shows that the proposed approach provides a good basis for monitoring and creating maps of noise levels in an urban environment. The system also has the possibility of remote control from a central computer on



which specialized software for remote maintenance and service. The communication between the elements in the thus built structure is carried out through standard Internet protocols. Together with the main program, a program for determining the exact geographical position of the measuring system is also launched.

The dissertation includes the results of a study of noise in the subway (in the territory of the station on the platform and in a car), according to which this type of system can be used to evaluate noise indicators in the transport system of the subway or railway trains, as well as on tram and bus lines. The platform and methods chosen by the dissertation to develop software for a mobile noise monitoring system offer a number of advantages. The most important of these are universality, low cost of components and easy integration of the end device into outdoor facilities, making it part of a sensor network as a module. A development is presented that offers a method for obtaining familiar and widely used acoustic parameters for noise quantification. Research has been conducted that focuses on the design and implementation of plug-and-play intelligent sensor devices in elevators that facilitate their non-invasive installation, integrated processing and data storage that can provide detailed information about the elevator's status. The author presents a modern approach to the assessment of basic parameters for monitoring the condition of elevators. The described signal processing scheme of the non-invasive autonomous sensor system has been integrated into various types of elevators and subjected to various field tests. Based on the data obtained, predictive maintenance can be implemented and downtime can be reduced.

The seventh chapter discusses precise positioning of mobile sensor systems, which is a prerequisite for their autonomous behavior, both in industrial environments and outdoors. One approach to solving the localization problem is to use a global navigation satellite system, in which the measurements are combined into a filtering program to estimate the global position of the system. The dissertation offers a simultaneous assessment of the state of a robot equipped with on-board sensors and the construction of a model of the environment perceived by these sensors, in which simultaneous localization and mapping are offered. It consists of parallel construction of a model of the environment and estimation of the position of the robot moving in it. The described system components are connected through a distributed computer architecture. The communication between the individual components takes place through ROS (Robot Operating System). The Husky robot's control computer receives the data from the controller and transmits it to the robot's actuators via a controller. The passive computer receives data from the sensors and performs an estimation of the robot's position and a map with the corresponding SLAM algorithms. The robot is manually controlled via a computer and control console to evaluate the localization and mapping process. The mobile platform and its software package, based on open source, are supplemented with algorithms or sensors and accurately reflect the intended applications for smart logistics, field robot monitoring or household assistance systems. The thesis shows the superiority of the chosen approach in terms of computational and memory load, as well as the easy inclusion and use of additional sensors. The experiments conducted with the studied system clearly show the efficiency and excellent capabilities of the autonomous robot for the considered applications. The thesis developed a new approach for timing and calibrating a camera and an inertial measurement module in the research-oriented visual-inertial mapping and localization framework Maplab. Mapping and localization are based on the detection of some features of the environment. In addition to the possibility of creating maps in a single pass, the considered algorithms allow increasing the accuracy of mapping and obtaining wide-area maps. Preliminary results show that, after proper calibration and synchronization, Maplab can be used effectively for mapping, especially in the premises of small buildings. Recently, the field of deep machine learning has experienced rapid growth and enabled it to be effectively used to solve a variety of applications.



5. SCIENTIFIC AND SCIENTIFIC-APPLIED CONTRIBUTIONS OF THE DISSERTATION

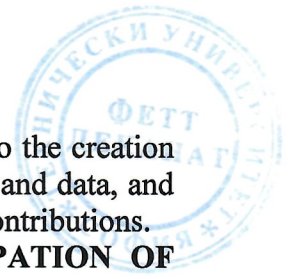
I accept the contributions formulated by the dissertation, underlining that they are well-founded and I communicate them as follows:

Scientific contributions:

1. A new adaptive algorithm and a generalized approach for linear approximation of sensory characteristics and for linear interval approximation are proposed, which solve the problem of linearization of sensory characteristics representing differentiable functions with a constant sign of curvature. New is the guarantee of a set level of the linearization error.
2. An innovative approach for polygonal approximation of non-self-intersecting sensor characteristics (transfer functions) set in point or analytical form is proposed.
3. Two alternative non-linear optimization tasks arising in polylinearization are substantiated and an approach is proposed for the estimation of noise parameters of sensors and methods and algorithms for increasing the accuracy of sensor data.
4. New methods for object localization and detection and numerical algorithms for calibrating and increasing the accuracy of environmental monitoring devices are proposed.
5. A new stochastic approach is proposed for the estimation of noise parameters of sensors and methods and algorithms for increasing the accuracy of sensor data, which are based on the use of Allen's Mean-Square Deviation.

Scientific and applied contributions:

1. An experimental set-up has been developed for the study of Kalman filters related to data fusion and evaluation of their effectiveness and proposed for short-term forecasting of cloud cover and the possibilities for forecasting energy yield from photovoltaic plants;
2. A navigation system based on convolutional neural networks for autonomous driving and a system for detecting and tracking objects using unmanned aerial vehicles based on the YOLO detector have been developed;
3. Intelligent sensor systems have been developed for monitoring parameters of air, drinking water, soil and noise in urbanized environments;
4. Multisensor systems and scalable mobile sensor systems have been developed for monitoring basic air parameters based on low-budget sensors and controllers with limited computing resources;
5. Sensor systems have been developed to study the specific parameters of indoor air;
6. A sensor module has been developed that allows easy integration of the device into studied environments, and a system for evaluating the quality of water environments based on colorimetric methods;
7. A sensor system for measuring soil moisture and a multi-sensor system for monitoring in the field of agriculture were developed, using microfluidics to assess biological parameters of water environments;
8. Mobile wireless systems have been developed for measuring and mapping basic noise parameters;
9. Sensor data fusion approaches using accelerometers have been proposed and sensor systems using embedded machine learning have been implemented;
10. An expert system for fault diagnosis in digitally controlled metal cutting machines was implemented and an industrial IoT platform was proposed;
11. Sensor systems for simultaneous localization and mapping using inertial modules, odometry and 3D LiDAR and a visual-inertial system using data fusion to improve localization accuracy have been implemented;
12. An approach for using magnetic sensors for room mapping is proposed.



The contributions formulated by the author with the dissertation work belong to the creation of new methods, models and means, and obtaining new and confirmatory facts and data, and therefore, in my opinion, have the character of scientific and scientific applied contributions.

6. EVALUATION OF THE DEGREE OF PERSONAL PARTICIPATION OF THE DISSERTATION AUTHOR THE CONTRIBUTIONS

I personally know Prof. Marinov and the creative atmosphere in which he works in the Department of Electronic Technology. He completed his MA and PhD studies at the University of Ilmenau, Germany.

From what I have read in the dissertation, I appreciate that the author uses the theoretical analysis and experiments on the developments as justification, and the presentation of the results in renowned international scientific journals and in several scientific forums prove his active presence in the scientific life of the Technical University. This gives me reason to assume that the developments are the personal work of the author of the dissertation.

7. EVALUATION OF DISSERTATION PUBLICATIONS

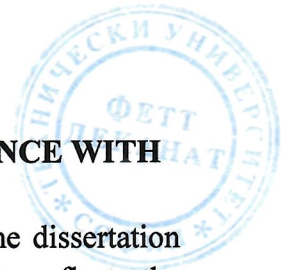
The dissertation work of Prof. Marinov is based on 64 scientific publications, the main part of which is in renowned editions in Scopus (49). Dissertation publications reflect the main parts of the development and are well-reasoned, analytical and complete. In 4 of the publications, Prof. Marinov is the sole author. The dissertation developments have been published in renowned scientific publications such as: Annual Journal of Electronics; Electronics E+E; 39th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE); 40th International Spring Seminar on Electronic Technology (ISSE); Proceedings of Technical University-Sofia; Micromachines; Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences; Social Informatics and Telecommunications Engineering at Springer; Electronics, Energies 2021; Sensors 2022/23, Computation 2022/23, etc. The author has noticed 275 citations of his publications, mainly by foreign scientists and specialists.

I have no publications in common with the author of the dissertation and I am not a person related to him in the sense of paragraph 1, item 5 of the Supplementary Provisions of ZRASRB. I found no elements of plagiarism in the dissertation materials.

It can be assumed that the results of the dissertation are well known to the scientific community at home and abroad, since the main part of the publications are included in refereed scientific journals with an impact factor, and a small part - reports from peer-reviewed proceedings of international scientific conferences.

8. USE OF THE RESULTS OF THE DISSERTATION WORK IN SCIENTIFIC AND SOCIAL PRACTICE

The dissertation includes results of comparative measurements of environmental parameters with those of measurements with reference mobile and stationary systems of the Executive Agency for the Environment at the Ministry of the Environment. The methodologies, software environments and measurement results applied in the research represent an element of the scientific part of the "Doctor of Science" degree. He prepared a textbook for the students of the University's master's course on "Electronic Systems for Environmental Monitoring".



9. ASSESSMENT OF COMPLIANCE OF THE AUTHOR REFERENCE WITH THE REQUIREMENTS FOR ITS PREPARATION

I have read the abstract carefully and I accept that it represents the text of the dissertation well. The abstract complies with the requirements of the Volume Regulations, reflects the content of the dissertation and presents its contributing elements.

10. OPINIONS, RECOMMENDATIONS AND NOTES:

- 1) In the first chapter there are texts that sound like for a textbook.
- 2) In many of the figures included in the dissertation, the inscriptions are in English, but it is good if they are in Bulgarian.
- 3) I have doubts about the assessment of soil humus content mentioned in chapter 5, because it is a collection of soil substances and elements and it is difficult to decide which ones are measured.
- 4) In the text of the dissertation, except in the first chapter, authors are cited, which makes it difficult for the reader to decide what is new in the dissertation.
- 5) There is no conclusion at the end of the dissertation.

11. CONCLUSION

I support the presented content of the dissertation and the contributions formulated in it, and by positively evaluating the results of the development of the dissertation work on the topic "INTELLIGENT SENSOR SYSTEMS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING" in the scientific specialty "Methods, converters and devices for measuring and controlling physico-chemical and biological quantities" and the contributing elements of the work for the theory and practice of the electronization of measurements in the environment, I propose to the Scientific Jury to make a decision to award Prof. Dr. Eng. Marin Berov Marinov the scientific degree "Doctor of Technical Sciences".

26.02. 2024
Sofia



(n)

Prof. Dr. Eng. Nikola V. Kolev, DrSci.

