



на дисертационен труд за придобиване на научна 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”

Изготвил: проф. д-р Анатолий Трифонов Александров – ТУ-Габрово

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение.

Известно е, че дейностите на хората причиняват вредни въздействия върху околната среда - на въздуха, водата, почвата и климата. Това води до все по-нарастващ интерес към опазването на околната среда и фокусира вниманието на обществото към по-обхватното ѝ наблюдаване и характеризиране чрез оценка на редица физични, химични и биологични фактори, които ѝ влияят. Тази информация е необходима за запазване и поддържане на здравословна среда за бъдещите поколения.

Прилагат се три основни подхода за развитие на инструментариума за изследване на околната среда: разработване на нови сензорни технологии за измерване на параметрите на околната среда; проектиране на алгоритми за подобряване на чувствителността и селективността на сензорите чрез използване на модерни методи като машинно обучение и изкуствен интелект; използване на широкообхватни сензорни мрежи за мониторинг на параметрите на околната среда. В настоящия дисертационен труд е представено използването на тези подходи при създаване на интелигентни сензорни системи за мониторинг на основни параметри на околната среда.

Темата, разглеждана в дисертационния труд, представлява актуален аспект от процеса на електронизация на измерванията и оценката на основни параметри на околната среда. Разработката има непосредствено приложение в областта на електронизацията на екологичните изследвания.

Представените материали отговарят на изискванията на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в Технически университет – София и показват, че проф. Марин Маринов е постигнал резултати, позволяващи му да иска разкриване на процедура за защита на дисертационен труд за присъждане на научната степен „доктор на науките”.

2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал.

Извършени са оценка на текущото състояние на изследваната област и критичен анализ на съществуващите системи за мониторинг на околната среда, които се използват за различни приложения.

Литературният обзор е насочен конкретно към изследваната тематика и показва недвусмислено, че проф. д-р инж. Марин Маринов познава много добре състоянието на проблема в теоретично и практическо отношение. Авторът е посочил 442 литературни източника, които е използвал за оценка на състоянието на проблема. На кирилица са 9 литературни източника, а на латиница - 433, като 264 от тях са от последните десет години.

Целта на представения дисертационен труд е насочена към разработването на интелигентни сензорни системи и устройства за Интернет на нещата (IoT), предназначени за мониторинг на основни параметри на въздушната среда, питейни води, почвата и шумовите замърсявания в урбанизирани области. Този целеви аспект се предвижда да се постигне чрез синтез и изследване на съвременни подходи, методи и алгоритми за сливане и повишаване на



качеството на данни от нискобюджетните сензорни системи и прецизно документиране и картографиране на данните от мониторинг.

Изпълнението на поставената цел включва решаването на няколко основни задачи:

- анализ на съществуващи интелигентни сензорни системи и на тяхната базова архитектура;

- дефиниране на характеристики на интелигентните сензорни системи и IoT устройства чрез провеждане на експериментални измервания и анализ на нивата на замърсители във въздуха, водата, почвата и шума в урбанизирани области;

- изследване и анализ на точността на нискобюджетни сензори за измерване на концентрации на основни замърсители и разработване на подходи за филтриране и сливане на сензорни данни, оптимизирани за електронни устройства с ограничени ресурси;

- линеаризация и калибриране на сензорни устройства;

- създаване на прототипи на интелигентни сензорни системи и тестване в реални условия; изследване на алгоритми и програмни среди за локализация и картографиране в открити и закрити среди;

- използване на безпилотни летателни апарати и автономни транспортни средства за документиране и картографиране на замърсявания в труднодостъпни райони;

- предлагане на подходи за обработване на сензорни данни с изкуствен интелект и на методи за управление на ресурси за безжични интерфейси.

3. Съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите приноси.

Разработките, представени в дисертационния труд, и публикациите на автора обхващат период от над 15 години. Те са системно структурирани с последователност, предоставяща успешни решения на задачите, поставени в проучването.

Дисертантът развива концепцията за изследване на вече създадени интелигентни сензорни системи и представя структуриран подход за разработка и имплементация на интелигентни устройства. Тези устройства използват нискобюджетни сензори и микроконтролери с ограничени ресурси, като за различни приложения трябва да бъдат мобилни, да поддържат безжична комуникация и да осигуряват широкомащабен мониторинг с висока времева и пространствена разделителна способност. Установено е, че с използването на нискобюджетни сензори и подходящи алгоритми, реализирани върху микроконтролери с ограничени ресурси, може да се постигне задоволителна точност на измерванията, необходими за оценка на параметрите на околната среда.

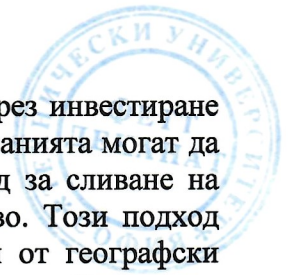
Обсъдена е спецификата на интелигентни сензорни системи за мониторинг на околната среда, анализирани са съвременните тенденции в тяхното развитие и са формулирани основни изисквания към тези системи. Важна част от дисертационния труд са локализацията и картографирането поради тяхната важност за документиране на резултатите от мониторинга и установяване на източници на замърсявания.

При разработването на дисертационния труд е използван съвременен инструментариум, съответстващ на неговата цел и задачи.

4. Кратка аналитична характеристика на дисертационния труд

Дисертационният труд се състои от увод, 7 глави, приноси, списък на използваната литература и 5 приложения. Съдържа 207 фигури, 52 таблици, както и списъци на използваните означения и съкращения, на фигурите и таблиците.

В уводна глава е обоснована актуалността на проблемите и мотивацията за проведеното изследване в дисертационния труд. Представени са обстоятелствата, залегнали в основата на изследването. Формулирани са основните предизвикателства, които ще бъдат изследвани в дисертационния труд. Показани са някои ограничения, които се поставят при провеждане на изследванията и са дадени определения на основни термини и понятия, използвани в дисертационния труд. Формулирани са три основни категории екологичен мониторинг. Направени са обобщения и изводи.



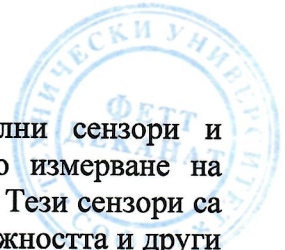
В първата глава на дисертацията авторът представя твърдението, че чрез инвестиране на време и ресурси множество проблеми и източници на грешки при измерванията могат да бъдат открити, оценени и в много случаи коригирани. Предложен е метод за сливане на сензорни данни като ефективен подход за подобряване на тяхното качество. Този подход включва използването на множество сензори, които събират информация от географски разпределени места, подчертавайки тяхното пространствено разпределение. След това данните се подлагат на анализ и обработка, при което изкуственият интелект става средство за решаване на задачи в областта на мониторинга на околната среда, а машинното обучение се явява ефективен инструмент за цифровата им реализация.

Във втора глава са представени актуалното състояние на изследваната област и мотивацията за провеждане на изследванията. Разгледани са съвременни сензори и технологии при реализация на системи за мониторинг. Направен е преглед на актуалните директиви на Европейския съюз, свързани с разглежданата проблематика. Дадени са определения на основните замърсители на въздуха. Разработени са насоки за оценка на качеството на въздуха в затворени помещения, на водата и почвата, на вибрации и шум и на състоянието на технически обекти. Представени са основните свойства на почвата и значението на почвения анализ. Разгледани са сензори за изследване на качеството на въздуха, водата и почвата, както и сензори за мониторинг на шум и вибрации и на състоянието на технически обекти. Показани са спецификата на интелигентни сензорни системи за мониторинг на околната среда, съвременни тенденции в развитието им и основни изисквания към тях. Формулирани са основните цели и задачи.

Третата глава на дисертацията разглежда методите за повишаване на точността и подобряване на качеството на сензорни данни, извлечени при широкомащабен мониторинг. В този раздел са представени и проучени различни методи, с фокус върху оценката на тяхната приложимост, ефективност и възможности за разширяване на техните приложения. Главата включва анализ на методи за оценка на метрологични параметри на сензори и тяхното калибриране както в конвенционални, така и в мрежови среди. В нея са представени и разработени сензорни системи за ключови области, свързани с проведените изследвания, като се демонстрират резултати от тяхната използваемост. Публикациите към глава 3 са 30.

В четвърта глава са представени разработените и реализирани мобилни системи за мониторинг на качеството на въздуха в открити и закрити пространства, както и системи за почистване на въздуха. Предложените системи разчитат на мобилни сензорни модули с ниска консумация на енергия, оборудвани с дълготрайни акумулаторни батерии и Wi-Fi комуникационни модули. Това позволява сензорните устройства да бъдат лесно премествани и поставяни в райони, където има Wi-Fi покритие. Появата на нискобюджетни сензори в съчетание с концепциите, залегнали в интернет на нещата (IoT), дава възможност да се промени начинът на наблюдение на качеството на въздуха. Представен е подход за мониторинг на замърсяването с фини прахови частици (ФПЧ). Подходът позволява осъществяване на мониторинг в труднодостъпни райони, на височини до около 500 m и локализация на замърсители. Изследвани са методи и инструментариум за картографиране на концентрацията на ФПЧ. Представени са голямо количество експериментални резултати. Публикациите към глава четвърта са 11.

В пета глава са представени иновативен метод и виртуална система за анализ на пречистена вода. Тази система е икономически ефективна и универсална, способна да обработва и регистрира данни от множество сензори. Тя осигурява възможност за онлайн наблюдение и регистриране на физикохимични параметри на различни водни разтвори. Разгледана е възможността за разширение на системата с допълнителни сензори, като например сензор за окислително-редукционен потенциал (ORP), сензор за поток и други, с цел подобряване на функционалността и разширяване на обхвата на приложение. Обсъден е и въпросът за използването на микрофлуидни устройства, които оперират с малки обеми проби и минимални количества реагенти, предоставяйки ефективност и достъпност в едно.



Акцентирано е и върху съвременните нискобюджетни проксимални сензори и технологии за мониторинг на почвата, които служат за бързо и точно измерване на параметрите и свойствата на почвата в ограничен район или на местно ниво. Тези сензори са компактни и мобилни, което улеснява тяхното пренасяне и измерване на влажността и други характеристики на почвата на различни места в полето или градината. В рамките на дисертационния труд е извършено оценяване на три вида нискобюджетни сензори, предназначени за измерване на влажността на почвата. Недостатъкът им се изразява в нуждата от периодично калибриране, което е неизбежно поради промените в някои параметри на сензора и флукуациите в концентрациите на определени елементи в почвата. Публикациите към глава пета са 6.

В шеста глава се разглежда процесът на създаване на мобилна безжична система за измерване на шум и вибрации, базирана на платформата Raspberry Pi 3 и на нискобюджетни електронни компоненти. Анализът на функционалността на модулите по време на продължителни тестове показва, че предложеният подход предоставя стабилна основа за мониторинг и изграждане на карти с нивата на шум в урбанизирана среда. Системата е снабдена и с възможност за дистанционно управление от централен компютър, на който е инсталиран специализиран софтуер за дистанционна поддръжка и обслужване. Комуникацията между компонентите в структурата се осъществява чрез стандартни интернет протоколи. Заедно с основната програма се активира и програма за определяне на точната географска позиция на измервателната система.

Платформата и методите, използвани от автора при създаването на софтуер за мобилна система за мониторинг на шума, предоставят редица предимства - универсалност, ниска цена на компонентите и лесна интеграция на крайното устройство в открити обекти. Представена е разработка, която предоставя метод за извличане на широко използвани и добре познати акустични параметри, които могат да бъдат използвани за количествено оценяване на шума. Публикациите към глава шеста са 15.

В седма глава се разглежда точното позициониране на мобилните сензорни системи, което е предпоставка за тяхното автономно поведение както в индустриална среда, така и на открито. Един от подходите за решаване на проблема с локализацията включва използването на глобална навигационна спътникова система, където измерванията се обединяват във филтрираща програма с цел оценка на глобалната позиция на системата. Публикациите към глава седма са 13.

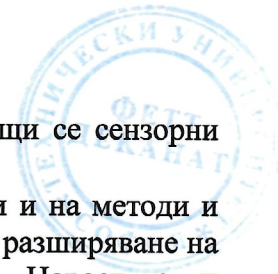
В приложенията са дадени основни замърсители на въздуха и техните гранични стойности, адресите на станциите за оценка на качеството на въздуха на територията на град София, обслужвани от Изпълнителната агенция по околна среда, чиито данни са използвани при изследванията, примери за приложение на разработените в трета глава методи за адаптивна линеаризация на различни видове сензорни предавателни функции и за разработения метод за полилинеаризация на сензорни характеристики.

5. Научни, научно-приложни и приложни приноси на дисертационния труд

Приносите в дисертационния труд имат научен и научно-приложен характер и са в областта на електронизация на измерванията и оценката на основни параметри на околната среда. Те са свързани с доказване с нови средства на съществени нови страни в съществуващи научни проблеми и с получаване на потвърдителни факти.

Научни приноси

- Предложени са нови подходи и алгоритми за решаване на задачата за линеаризация на широк клас сензорни предавателни характеристики: адаптивен алгоритъм за линейна интервална апроксимация, с който се гарантират зададено ниво на грешката от линеаризация и едновременното решаване на задачите за намиране на обратната сензорна характеристика и нейната линеаризация; обобщен подход за линейно апроксимиране на сензорни характеристики, които са диференцируеми функции;



иновативен подход за полигонална апроксимация на несамопресичащи се сензорни характеристики, зададени в точков или аналитичен вид.

- Предложен е нов подход за оценка на шумови параметри на сензори и на методи и алгоритми за повишаване на точността на сензорни данни, основан на разширяване на приложимостта на средноквадратичното отклонение на Алън. Новост е и използването на СКО за оценка на надеждността на MEMS сензори.
- Предложени са нови методи за локализация и откриване на обекти и числени алгоритми за калибриране и повишаване на точността на устройства за екологичен мониторинг.

Научно-приложни приноси

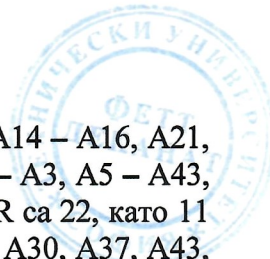
- Разработени са подходи, свързани със сливането на данни и изследване на ефективността на филтри на Калман за краткосрочно прогнозиране на облачно покритие, за прогнозиране на добива на енергия от фотоволтаични централи и за повишаване на точността на локализацията на роботизирани платформи.
- Разработени са и са тествани система за навигация, реализирана на базата на конволюционни невронни мрежи за автономно шофиране, и система за откриване и проследяване на обекти на базата на детектора YOLO.
- Разработени са интелигентни сензорни системи за мониторинг на качеството на въздуха, питейната вода, почвата и шума в урбанизирани среди: 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; сензорни системи за изследване на специфичните параметри на въздуха на закрито и устройства за пречистване на въздуха; система за оценка на качеството на водна среда на базата на колориметрични методи; сензорна система за измерване на влажността на почвата и мултисензорна система за мониторинг в областта на земеделието; мобилни безжични системи за измерване и картографиране на основни шумови параметри.
- Синтезирани са и са валидирани различни подходи за измерване на вибрации и мониторинг на технически обекти. Изследвани са подходи за сливане на сензорни данни с използването на съвременни методи. Реализирани са сензорни системи, използващи вградено машинно обучение и експертна система за диагностика на неизправности в металорежещи машини с ЦПУ. Предложени са индустриална платформа за IoT и ранна диагностика и поддръжка на технически обекти и подход за виртуално въвеждане в експлоатация на технически обекти с помощта на дигитални близнаци.
- Приложени са подходи и методи за локализация на обекти и картографиране на среди на открито и закрито. Реализирани са сензорни системи за едновременна локализация и картографиране и визуално-инерциална система чрез сливане на данни за подобряване на точността при локализация. Предложен е подход за използване на магнитни сензори за картографиране на помещения.

6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите.

Считам, че дисертационният труд е лично дело на проф. д-р инж. Марин Маринов. Основание за това ми дават представеният материал и свързаните с него публикации.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Публикациите по дисертационния труд са 64, от които 49 [A7 – A10, A13 – A17, A20 – A43, A45 – A51, A54, A55, A57 – A63] са в издания, реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация, а 15 [A1 – A6, A11, A12, A18, A19, A44, A52, A53, A56, A64] са в неререферирани списания и конференции с научно рецензиране. Четири от публикациите са самостоятелни, като три са в български списания [A6, A11, A12] и една е на международна конференция [A26].



Проф. Маринов е първи автор в 19 публикации [A1 – A7, A9, A11, A12, A14 – A16, A21, A26, A29, A43, A54, A63]. Шестдесет и една публикации са на чужд език [A1 – A3, A5 – A43, A45 – A63], а три – на български език [A4, A44, A64]. Публикациите с IF и SJR са 22, като 11 [A7, A9, A10, A13, A21, A23, A24, A26, A27, A28, A47] са само с SJR, 9 [A22, A30, A37, A43, A45, A46, A50, A51, A54] са с IF и SJR, а 2 – само с IF [A62, A63]. Считаю, че направените публикации покриват равномерно и пълно дисертационната тема и отразяват целта и задачите на дисертацията.

Разработките са публикувани в рецензирани научни издания, като Journal of Electronics, Електроника E+E, International Spring Seminar on Electronics 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.

Проф. Маринов е автор на един учебник и на пет глави от книги, има участия в 11 проекта. Към месец октомври 2023 г. в базата данни Scopus са забелязани 277 цитирания на научните трудове на проф. Маринов.

Приемаю, че основните резултати от дисертацията са публикувани и известни на научната общност.

Проф. Маринов покрива и по определени показатели надвишава минималните национални изисквания. Защитил е дисертационен труд в Германия на тема „Методология за проектиране и реализация на експертна система за диагностика на избрани технически обекти“ (показател А - 50 т.). Представя: дисертационен труд за присъждане на научна степен „доктор на науките“ на тема „Интелигентни сензорни системи за екологичен мониторинг“ (показател В - 100 т.); 64 публикации (група показатели Г - 696 т.), от които 49 научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (показател Г7 – 534,1 т.), и 15 научни публикации в нереферирани списания с научно рецензиране или в редактирани колективни томове (показател Г8 – 118,7 т.); 277 цитирания (група показатели Д - 2050 т.). Проф. Маринов е автор на един университетски учебник (показател Е23 – 40 т.).

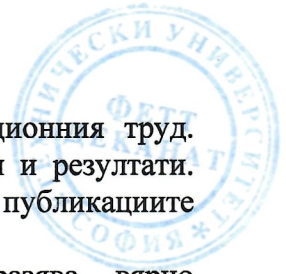
Група от показатели	Минимални национални изисквания за научна степен „доктор на науките“	Проф. д-р Маринов
А	50 т.	50 т.
Б	100 т.	100 т.
В	-	-
Г	100 т.	696,66 т.
Д	100 т.	2050 т.
Е	-	40 т.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Наличию на постигнат пряк икономически ефект и пр. Документи, на които се основава твърдението.

Разработените нови подходи, методи и алгоритми за локализиране и картографиране в условията на интензивни въздействия от различни смущения са свързани със значителна изчислителна сложност и могат да се използват в научната и социална практика.

9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд.

Представеният автореферат е в обем от 71 страници. Означенията на формулите, таблиците и фигурите в автореферата не съвпадат с тези в дисертацията. Представени са актуалността на решавания проблем, целта на дисертационния труд, основните задачи и



методи за изследване и са описани структурата и обемът на дисертационния труд. Отделните глави от дисертацията са представени с основните си акценти и резултати. Авторефератът завършва с приносите на дисертационния труд и списък на публикациите по дисертационния труд.

Авторефератът отговаря на общоприетите изисквания и отразява вярно съдържанието и приносите на дисертационния труд.

10. Мнения, препоръки и бележки.

В трудовете на кандидата не открих съществени пропуски. Би било добре надписите на фигурите да са на български език.

11. Заключение

В заключение мога да дам положителна оценка на получените резултати и полезността на дисертацията. Авторът на дисертационния труд е демонстрирал задълбочени теоретични познания и практически умения за изследване и успешно реализиране на поставените цел и задачи.

Постигнатите резултати ми дават основание да предложа да бъде придобита научната степен „доктор на науките” от проф. д-р инж. Марин Беров Маринов в област на висше образование – 5. Технически науки, професионално направление – 5.2 Електротехника, електроника и автоматика, специалност – „Методи, преобразуватели и уреди за измерване и контрол на физико-химични и биологични величини”.

Дата: 08.02.2024 г.



Изготвил : (п)

/проф. д-р А. Александров/





REVIEW

of a thesis for obtaining the scientific degree of "Doctor of Science."

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

Thesis topic: "Intelligent sensor systems for environmental monitoring."

Field of higher education: 5. Technical sciences; Professional field: 5.2 Electrical engineering, electronics, and automation; Scientific discipline: "Methods, converters, and devices for measuring and controlling physiochemical and biological quantities"

Written by: Prof. Dr. Anatoly Trifonov Alexandrov – TU-Gabrovo

1. Relevance of the problem studied in the thesis in scientific and scientific-applied terms.

Human activities are known to produce harmful environmental effects on air, water, soil, and climate. This leads to an ever-increasing interest in protecting the environment and a focus of public attention on its more comprehensive monitoring and characterization through assessing several physical, chemical, and biological factors that affect it. This information is necessary to preserve and maintain a healthy environment for future generations.

Three main approaches are applied to developing environmental research instrumentation: developing new sensor technologies for measuring environmental parameters, designing algorithms to improve the sensitivity and selectivity of sensors by using advanced methods such as machine learning and artificial intelligence, and using large-scale sensor networks for monitoring environmental parameters. The thesis presents the use of these approaches in creating intelligent sensor systems for monitoring basic environmental parameters.

The thesis concerns a topical aspect of the electronic measurement and assessment of basic environmental parameters. The research has a direct application in the field of electronic research in the environment.

The submitted materials meet the requirements of the Regulations for the Terms and Procedures for Obtaining Scientific Degrees at the Technical University—Sofia and show that Prof. Marin Marinov has achieved results that allow him to request opening a procedure for the defense of a thesis for obtaining the scientific degree of "Doctor of Science."

2. Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literary material.

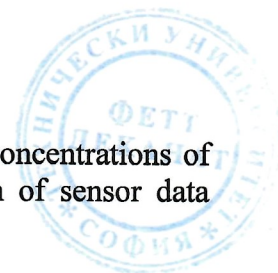
The thesis evaluates the current state of the study area and critically analyzes existing environmental monitoring systems used for various applications.

The literature review is explicitly aimed at the researched topic. It shows unequivocally that Prof. Dr. Eng. Marin Marinov very well knows the state of the problem in theoretical and practical terms. The author listed 442 literature sources that he used to evaluate the state of the problem. There are nine literary sources in Cyrillic and 433 in Latin, 264 of which have been published over the last ten years.

The thesis work aims to develop intelligent sensor systems and devices for the Internet of Things (IoT), designed for monitoring basic parameters of the air environment, drinking water, soil, and noise pollution in urbanized areas. This is envisaged to be achieved through synthesizing and researching modern approaches, methods, and algorithms for merging and improving data quality from low-budget sensor systems and precise documentation and mapping of monitoring data.

To accomplish the aim, several objectives need to be fulfilled:

- Analysis of existing intelligent sensor systems and their basic architecture;
- defining the characteristics of intelligent sensor systems and IoT devices by conducting experimental measurements and analysis of pollutant levels in air, water, soil, and noise in urbanized areas;



- research and analysis of the accuracy of low-cost sensors for measuring concentrations of major pollutants and development of approaches for filtering and fusion of sensor data optimized for electronic devices with limited resources;
- linearization and calibration of sensor devices;
- creation of prototypes of intelligent sensor systems and testing in real conditions; study of algorithms and programming environments for localization and mapping in open and closed environments;
- use of unmanned aerial vehicles and autonomous vehicles to document and map pollution in hard-to-reach areas;
- proposing approaches for sensor data processing with artificial intelligence and resource management methods for wireless interfaces.

3. Correspondence of the chosen research methodology, the aim and objectives of the thesis, and its contributions.

The findings presented in the thesis, and the author's publications cover over 15 years. They are systematically structured in a sequence that ensures the successful solution of the tasks set in the study.

The thesis develops the concept of researching already existent intelligent sensor systems and presents a structured approach to developing and implementing intelligent devices. These devices use low-cost sensors and microcontrollers with limited resources. Various mobile applications must support wireless communication and provide large-scale monitoring with high temporal and spatial resolution. It is proven that satisfactory accuracy of the measurements needed to estimate environmental parameters can be achieved using low-budget sensors and appropriate algorithms implemented on microcontrollers with limited resources,

The work discusses the specifics of intelligent sensor systems for environmental monitoring, analyzes modern trends in their development, and formulates basic requirements for these systems. Localization and mapping are important parts of the work because they are important in documenting monitoring results and establishing pollution sources.

In producing the thesis, the author uses modern tools that correspond to the thesis's purpose and tasks.

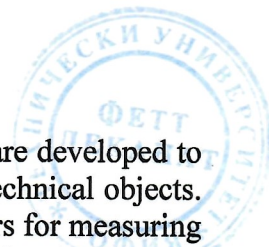
4. Brief analytical description of the thesis

The thesis consists of an Introduction, seven Chapters, contributions, a list of references, and five appendices. It contains 207 Figures and 52 Tables, as well as lists of symbols and abbreviations used in the Figures and Tables.

The introductory Chapter substantiates the relevance of the problems and the motivation for the research conducted in the work. The circumstances underlying the study are presented. The main challenges to be investigated in the thesis are formulated. Some research limitations are shown, and definitions of basic terms and concepts used in the thesis are given. Three main categories of environmental monitoring are formulated. Generalizations and conclusions are made.

In Chapter 1 of the thesis, the author states that by investing time and resources, many measurement error problems and sources can be detected, evaluated, and, in many cases, corrected. A sensor data fusion method is proposed as a practical approach to improve data quality. This approach involves multiple sensors that collect information from geographically distributed locations, highlighting their spatial distribution. The data is then subjected to analysis and processing, in which artificial intelligence becomes a tool for solving tasks in the field of environmental monitoring, and machine learning becomes an effective tool for their digital realization.

Chapter 2 presents the current state of the researched area and the motivation for conducting the research. Modern sensors and technologies in the implementation of monitoring systems are reviewed. A review of the current directives of the European Union related to the issue under



consideration is made. Definitions of the main air pollutants are given. Guidelines are developed to assess indoor air quality, water and soil, vibration and noise, and the condition of technical objects. The basic properties of soil and the importance of soil analysis are presented. Sensors for measuring the quality of air, water, and soil, sensors for monitoring noise and vibration, and the condition of technical objects are examined. The specifics of intelligent sensor systems for environmental monitoring, modern trends in their development, and basic requirements for them are shown. The main aim and objectives are formulated.

Chapter 3 of the thesis examines the methods for increasing accuracy and improving sensor data quality obtained during large-scale monitoring. In this section, various methods are presented and explored, focusing on evaluating their applicability, effectiveness, and possibilities for expanding their applications. This Chapter includes an analysis of methods for estimating the metrological parameters of sensors and their calibration in both conventional and networked environments. The Chapter presents work on developing sensor systems for key areas related to the research conducted, demonstrating the results of their usability. There are 30 publications on the subject matter of Chapter 3.

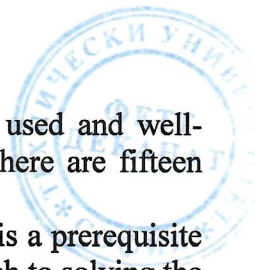
Chapter 4 presents the designed and implemented mobile air quality monitoring systems in open and closed spaces and air purification systems. The proposed systems rely on mobile sensor modules with low energy consumption, equipped with long-lasting rechargeable batteries and Wi-Fi communication modules. This allows the sensor devices to be easily moved and placed in areas with Wi-Fi coverage. The emergence of low-cost sensors, combined with the concepts underlying the Internet of Things (IoT), can change how air quality is monitored. An approach for monitoring fine particulate matter (FPM) pollution is presented. The approach allows monitoring in hard-to-reach areas, at heights of up to about 500 m, and localization of pollutants. Methods and tools for mapping the concentration of FPM are studied. A large number of experimental results are presented. There are 11 publications related to Chapter 4.

Chapter 5 presents an innovative method and a virtual system to analyze purified water. This system is cost-effective and versatile, capable of processing and logging data from multiple sensors. It makes it possible to monitor and record the physiochemical parameters of various aqueous solutions online. Expanding the system with additional sensors, such as an oxidation-reduction potential (ORP) sensor, a flow sensor, and others, is considered to improve the functionality and expand the scope of the application. This section of the work also discusses using microfluidic devices with small sample volumes and minimal amounts of reagents, thus providing efficiency and affordability.

Emphasis is also placed on modern low-budget proximal sensors and technologies for soil monitoring, which measure soil parameters and properties quickly and accurately in a limited area or local level. These sensors are compact and mobile, thus making them easy to carry, and they measure moisture and other soil characteristics in various places in a field or a garden. An evaluation of three types of low-budget sensors designed to measure soil moisture is made. Their disadvantage is the need for periodic calibration, which is inevitable due to changes in some sensor parameters and fluctuations in the concentrations of certain elements in the soil. There are six publications related to the research described in Chapter 5.

Chapter 6 examines creating a mobile wireless noise and vibration measurement system based on the Raspberry Pi 3 platform and low-cost electronic components. The analysis of the functionality of the modules during long-term tests shows that the proposed approach provides a stable basis for monitoring and building maps of noise levels in an urban environment. The system can also be remotely controlled from a central computer on which specialized remote maintenance and service software is installed. Communication between the components in the structure is conducted through standard Internet protocols. Together with the main program, a program for determining the exact geographical position of the measuring system is activated.

The platform and methods used by the author to create software for a mobile noise monitoring system provide several advantages: universality, low cost of components, and easy integration of



the device into open objects. The work presents a method for extracting widely used and well-known acoustic parameters that can be used for quantitative noise assessment. There are fifteen publications related to Chapter 6.

Chapter 7 examines the precise positioning of mobile sensor systems, which is a prerequisite for their autonomous behavior in industrial environments and outdoors. One approach to solving the localization problem involves using a global navigation satellite system, where the measurements are combined into a filtering program to estimate the system's global position. There are 13 publications related to Chapter 7.

The appendices contain the main air pollutants and their limit values; the addresses of the air quality assessment stations on the territory of the city of Sofia, served by the Executive Agency for the Environment, whose data are used in the research; examples of the application of the developed in Chapter 3 methods for adaptive linearization of various types of sensor transfer functions and the method of polylinearization of sensor characteristics.

5. Scientific, scientific-applied, and applied contribution of the thesis

The thesis's contribution is of a scientific and scientific-applied nature and is in the field of electronic measurements and assessment of basic environmental parameters. It is related to proving by new means essential new sides in existing scientific problems and obtaining corroborative facts.

Scientific contribution

- New approaches and algorithms are proposed for solving the problem of linearization of a broad class of sensor transfer characteristics: an adaptive algorithm for linear and interval approximation that guarantees a set level of the linearization error and simultaneously solves the problems of finding the inverse sensor characteristic and its linearization; a generalized approach for linear approximation of sensory characteristics that are differentiable functions; an innovative approach for polygonal approximation of non-self-intersecting sensory features set in pointwise or analytical form.

- The work proposes a new approach to estimating sensor noise parameters and methods and algorithms for increasing sensor data accuracy based on extending the applicability of Allen's mean square deviation. Another novelty is the use of CKO to evaluate the reliability of MEMS sensors.

- New methods for object localization and detection, as well as numerical algorithms for calibrating and increasing the accuracy of environmental monitoring devices, are proposed.

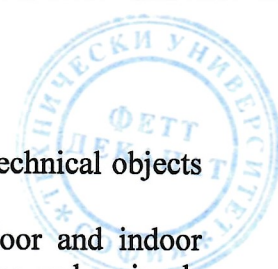
Scientific-applied contribution

- A number of approaches are developed related to data fusion and Kalman filter performance studies for short-term cloud cover forecasting, PV energy yield forecasting, and improving the localization accuracy of robotic platforms.

- A navigation system based on convolutional neural networks for autonomous driving and an object detection and tracking system based on the YOLO detector is developed and tested.

- Intelligent sensor systems are developed for monitoring the quality of air, drinking water, soil, and noise in urbanized environments: multi-sensor systems and scalable mobile sensor systems for monitoring basic air parameters based on low-budget sensors and controllers with limited computing resources; sensor systems for studying specific indoor air parameters and air purification devices; system for evaluating the quality of water environment based on colorimetric methods; soil moisture sensor system and multi-sensor agricultural monitoring system; mobile wireless systems for measuring and mapping basic noise parameters.

- Different approaches for vibration measurement and monitoring of technical objects are synthesized and validated. Approaches for sensor data fusion using modern methods are investigated. Sensor systems are implemented using embedded machine learning and an expert system for fault diagnosis in CNC machine tools. An industrial platform for IoT, early diagnosis



and maintenance of technical objects, and an approach for virtual commissioning technical objects using digital twins are proposed.

- Approaches and methods for localization of objects and mapping of outdoor and indoor environments are applied. Sensor systems for simultaneous localization and mapping and a visual-inertial system through data fusion are implemented to improve localization accuracy. An approach for using magnetic sensors for room mapping is proposed.

6. Evaluation of the degree of personal involvement of the author in the contributions.

I believe that the thesis is the personal work of Prof. Dr. Eng. Marin Marinov. The presented material and related publications give me grounds for this.

7. Evaluation of publications related to the thesis work

There are 64 publications on the thesis, 49 out of which [A7 – A10, A13 – A17, A20 – A43, A45 – A51, A54, A55, A57 – A63] are in editions, referenced and indexed in world-famous databases with scientific information, and 15 [A1 – A6, A11, A12, A18, A19, A44, A52, A53, A56, A64] are in non-refereed journals and conferences with scientific review. Four of the publications are independent, three are in Bulgarian journals [A6, A11, A12], and one is at an international conference [A26].

Prof. Marinov is the first author in 19 publications [A1 – A7, A9, A11, A12, A14 – A16, A21, A26, A29, A43, A54, A63]. Sixty-one publications are in a foreign language [A1 – A3, A5 – A43, A45 – A63], and three – in Bulgarian [A4, A44, A64]. The publications with IF and SJR are 22, 11 out of which [A7, A9, A10, A13, A21, A23, A24, A26, A27, A28, A47] are only with SJR, 9 [A22, A30, A37, A43, A45, A46, A50, A51, A54] are with IF and SJR, and 2 – only with IF [A62, A63]. I believe that the publications evenly and fully cover the thesis topic and reflect the purpose and objectives of the thesis.

The research findings have been published in peer-reviewed scientific publications, such as the Journal of Electronics, Electronica E+E, International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), Proceedings of Technical University-Sofia, Micromachines, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering of Springer, Electronics, Energies 2021, Sensors 2022/23, Computation 2022/23, etc.

Prof. Marinov is the author of one textbook and five Chapters in books and has participated in 11 projects. As of October 2023, the Scopus database has 277 citations of Prof. Marinov's scientific works.

I accept that the main results of the thesis are published and known to the scientific community.

Prof. Marinov meets and, under certain indicators, exceeds the minimum national requirements. He defended his PhD thesis in Germany on "Methodology for the application and implementation of external data for developing selected technical objects" (indicator A - 50 points). He has also submitted a thesis for gaining the scientific degree of "Doctor of Science" on the topic of "Intelligent sensor systems for environmental monitoring" (indicator B - 100 points); 64 publications (group of indicators D - 696 points), 49 out of which are scientific publications in editions referenced and indexed in world-famous databases with scientific information (indicator D7 - 534.1 points), and 15 scientific publications are in non-refereed journals with peer review or in edited collective volumes (index D8 – 118.7 points); 277 citations (group of indicators D - 2050 points). Prof. Marinov is the author of one university textbook (indicator E23 – 40 points).

A group of indicators	Minimum national requirements for the Doctor of Science degree	Prof. Ph.D. Marinov
A	50 p.	50 p.



B	100 p.	100 p.
C	-	-
D	100 p.	696,66 p.
E	100 p.	2050 p.
F	-	40 p.

8. Use the thesis results in scientific and social practice. Existence of achieved direct economic effect, etc. Documents on which the claim is based.

Innovative approaches, methods, and algorithms for localization and mapping in conditions of intense impact of various disturbances have been developed. They are associated with significant computational complexity and can be used in scientific and social practice.

9. Assessment of the abstract's compliance with the requirements for its preparation and the adequacy of presenting the thesis's main points and contribution.

The presented abstract is 71 pages long. The designations of the formulas, tables, and figures in the abstract do not correspond with those in the thesis. The relevance of the solved problem, the purpose of the thesis, the main tasks and research methods are presented, and the structure and volume of the thesis are described. The individual Chapters of the thesis are presented with their main highlights and results. The abstract ends with the contribution of the thesis and a list of publications on the thesis.

The abstract meets the accepted requirements and accurately reflects the content and contributions of the thesis.

10. Opinions, recommendations, and notes

I did not find any significant gaps in the candidate's work. However, it would be helpful if the captions of the figures were in Bulgarian.

11. Conclusion

In conclusion, I can give an upbeat assessment of the findings and the usefulness of the thesis. The author has demonstrated in-depth theoretical knowledge and practical skills for research and successfully accomplished the aim and objectives.

The results I achieved give me a reason to propose that Prof. Dr. Eng. Marin Berov Marinov be awarded the scientific degree "Doctor of Science" in the field of higher education—5. Technical sciences, professional field—5.2 Electrical engineering, electronics, and automation, discipline—"Methods, converters, and devices for measuring and controlling physicochemical and biological quantities."

Date: 08/02/2024



Member of the jury: (n)

/Prof. Ph.D. A. Alexandrov/

