

# СПРАВКА

## ЗА НАУЧНИТЕ ПРИНОСИ В ТРУДОВЕТЕ, ПРЕДСТАВЕНИ ЗА УЧАСТИЕ В КОНКУРС

за „доцент“ по научната специалност

„Автоматизирани системи за обработка на информация и управление“,  
научна област 5. Технически науки, професионално направление 5.3 Комуникационна и  
компютърна техника, към факултет по „Електроника и автоматика“,  
катедра “Компютърни системи и технологии” в ТУ-София, филиал Пловдив  
(обявен в ДВ бр. № 26/29.03.2019 г.)

**на д-р инж. Севил Аптула Ахмед**

гл. асистент в катедра “Системи за управление”, факултет Електроника и автоматика,  
Технически университет –София, филиал Пловдив

### I. Приноси в научните трудове, включени като равностойни на монографичен труд

Приносите в научните публикации представени в група показатели „В“ обобщават основните постигнати резултати в тематика извън тази на ОНС „доктор“. Обединяваща линия в научните разработки са предложените подходи за автоматизирано събиране, обработка и управление на информация с приложения в:

- Интелигентните системи за управление;
- Автоматизираното събиране и обработка на сензорна информация в безжични сензорни мрежи;
- Роботиката.

Цел в разработките и изследванията е създаването на алгоритми за интелигентно поведение на системи от различно естество като мобилни роботи, безжични сензорни мрежи и индустриални приложения, чрез използване на съвременни подходи и технологии за обработка на информация и управление. Засегнати са интердисциплинарни задачи, които изискват съчетаване на методи и подходи от Системите с изкуствен интелект и Теорията на управлението с такива от Комуникационната и компютърната техника.

Научните трудове в тази група са публикувани в сборници доклади на международни конференции ([B1], [B2], [B4] и [B5]), списания ([B3], [B6], [B7], [B9] и [B10]), и като самостоятелни глави в редактирани книги и периодични издания [B8].



## I.1. Приноси в областта на интелигентните системи за управление

Предложени са нови методи за устойчиво инкрементално обучение на невронни и невронно-размити структури с приложение в системите за интелигентно адаптивно управление.

1.1) **Разработени са клас рекурсивни алгоритми за обучение на интелигентни структури, при които се използват основни принципи от теорията на системите с променлива структура.** Предимства на разработените алгоритми са тяхната висока скорост на обучение и робастност. Доказана е сходимостта им и са посочени необходимите условия за това. Рекурсивни алгоритми за обучение са разработени за следните интелигентни структури:

- а) тип-2 размити невронни мрежи от типа „Такаги-Сугено-Канг“, с Гаусови функции на принадлежност [B1], [B2], [B3];
- б) тип-2 размити СМАС невронни мрежи [B4].

1.2) **Изследвана е приложимостта на разработените рекурсивни алгоритми за обучение в режим на хлъзгане при интелигентни структури, използвани за идентификация на обекти и като предсказващи модели в адаптивните системи за управление.** Предложени са интелигентни структури, реализирани както с многослойни невронни мрежи с прави връзки, така и с размити невронни мрежи, както и с размити невронни мрежи използващи тип-2 размита логика. Проведени са симулационни експерименти за моделиране на динамиката на различни обекти: идентификация на нелинейни обекти с неопределености и при наличие на шум [B1], [B3], [B4] както и апроксимация на немоделираната динамика и процесите на триене при управление на индустриален манипулатор [B2].

1.3) **Изследвани са възможностите за приложение на системи с използване на тип-2 размита логика при моделиране на динамични обекти.** Способността им да обработват данни, при наличие на шум и неопределености ги прави все по-предпочитани за редица приложения за моделиране, идентификация и управление. Проведени са сравнителни симулационни изследвания за он-лайн идентификация на две различни динамични нелинейни системи, използвани в литературата като тестови обекти, с използване на невронни структури прилагащи тип-1 и тип-2 размита логика [B1], [B2]. Първата система представлява нелинеен обект с неопределености и при наличие на адитивен шум, при втората система е разгледан нелинеен обект, чийто изходен сигнал става разходящ, ако входния сигнал превиши зададен праг (non bounded-input bounded-output nonlinear plant), като отново разглеждането е при наличие на шум. Получените резултати показват

по-доброто представяне на системата, базирана на тип-2 размита логика в сравнение с тази прилагаща, тип-1 размита логика.

Разгледано е съвместното използване на два подхода от теорията на управлението, а именно: управление с тип-2 размита логика и управление в режим на хлъзгане [A3]. Представени са основните принципи при тип-2 размитите множества. Приложението им в системите за управление е разгледано, на базата на интервал тип-2 системи с размита логика и по-конкретно Такаги-Сугено-Канг структура. Дискутирани някои възможности за приложението на режима на хлъзгане за онлайн обучение на размити невронни мрежи, които осигуряват сходимост и устойчивост на обучението.

## **I.2. Приноси в автоматизираното събиране и обработка на сензорна информация в безжични сензорни мрежи**

Мобилните роботи и безжичните сензорни мрежи (БСМ) притежават голям потенциал и предоставят големи възможности за разработка на приложения предоставящи отдалечен достъп до сензорни данни през интернет от всяка точка по света, както и за повсеместно приложение и използване на компютърни средства и методи за повишаване на ефективността и удобството на работа, предоставяне на разнообразни услуги както в сферата на бизнеса и производството, така и в ежедневието. Роботиката и БСМ са в повечето случаи разглеждани като отделни области за научни изследвания и интердисциплинарните научни изследвания занимаващи се с общи за тези две области проблеми са малко. Тази група приноси показва именно разширяването на възможностите на конвенционалните структури на БСМ с включване на роботизирани агенти в качеството на мобилни възли.

**2.1) Изграждане на лабораторна безжична хибридна сензорна мрежа, състояща се от стационарни сензорни възли и мобилни сензори разположени върху роботизирани платформи с цел изследване на алгоритми за управление на мобилни сензорни мрежи.** Реализиран е лабораторен прототип на безжична хибридна сензорна мрежа, състояща се от стационарни сензорни възли и мобилни сензори разположени върху роботизирани платформи [B5]. Той е успешно използван за експериментално прилагане, изследване и развиване на разработваните от научния колектив методи и алгоритми за управление на мобилни роботи в безжични сензорни мрежи с хибридна структура [B5], [B6] и [B7]. Хардуерната конфигурация на изградената за изследователски цели роботизирана безжична сензорна мрежа включва: Персонален компютър; Мобилен робот (iRobot Create – 2 бр.); Вградена микропроцесорна система verdex pro™ XL6P Gumstix; Computer-On-Module (COM), включваща надграждащи модули за конзолен достъп и захранващо напрежение, сериен порт, ШИМ и аналогово-цифрови преобразуватели), модул за Ethernet и WiFi комуникация; Сензори.

2.2) **Разработване на йерархична структура на система за управление, както и на управляващи алгоритми за автономните мобилни роботи в сензорната мрежа.** Автономните мобилни роботи следва не само да осъществяват точно желаните движения, но също така трябва да са в състояние да анализират постъпващата от различни източници информация; да извеждат решения; да получават задачи с висока степен на абстрактност, които да декомпозират на по-прости движения; да могат да изграждат и съблюдают желаните приоритети и др. Тази висока функционалност, която се очаква от тях следва да се постигне чрез разработване на йерархична система за управление, в която да бъде обединена работата на множество управляващи алгоритми с разнообразна функционалност. Възможностите в това отношение са доста широки, като включват алгоритми за изграждането на модели на средата, планиране на действията чрез решаване на оптимизационни задачи, алгоритми за извеждане на решения, прилагане на реактивни зависимости между входните сигнали и управлението на движенията и др. Изследването на възможните различни структури на система за управление и алгоритмите включени в тази структура трябва да се направи при отчитане на ограниченията в изчислителния ресурс на системата, възможностите за комуникация, както и специфичната функционалност на мобилните роботи в безжичните сензорни мрежи с хибридна структура. Въпросите свързани с разработването на йерархична структура на системата за управление се разглеждат в публикации [B5], [B6] и [B7]. Те също така представят три различни подхода за управление на роботизираните сензорни възли в БСМ, а именно:

– **Траекторно управление с помощта на изкуствена невронна мрежа (в публикация [B5]).** Реализиран е алгоритъм за траекторно управление на двуколесен мобилен робот, който е оборудван с сензор за осветеност и изпълнява ролята на роботизиран сензорен възел в примерна БСМ. Постановката на експеримента в публикацията се състои в изпълнение на зададена траектория, като същевременно се следи за наличието на светлинен източник локализиран над желаната траектория, по която се роботът трябва да се движи. Едновременно със задачата за траекторно следене е изпълнена и задача за четене и предаване на сензорна информация с използване на MQTT протокол.

– **Управление на формация от роботизирани възли в хибридна безжична сензорна мрежа (в публикация [B6]).** Целта на алгоритъма за управление е да води група от роботи до желано местоположение, използвайки информация за заобикалящата среда. При тази задача, могат да се разграничат две основни подзадачи. Първата е да се генерира подходящ път, свързващ текущата позиция на робота (водещия робот) и желаната крайна позиция. Втората подзадача е да се проектира и приложи многоагентно управление, което да позволи ефективно предвижване на

формацията от роботи. Планирането на пътя може да се реализира чрез прилагането на различни подходи като: граф на видимостта, диаграма на Вороной, метод на клетъчната декомпозиция, метод на потенциалните полета, чрез използване на невронни мрежи и др. В настоящето изследване за планирането на пътя е използван граф на видимостта. При планирането са отчетени физическите ограничения за работа IRobot Create: допустими линейна и ъглова скорост и физически размери. Втората подзадача е реализирана чрез прилагането на стратегия за предвиждане на формация от роботи, следвайки робота лидер. За управлението на формацията е проектирана модифицирана версия на кинематичния регулатор, първоначално предложен от японския учен Канаяма за следене на траектория от един робот. Използването на този алгоритъм при многоагентна система осигурява асимптотична сходимост на траекториите на управляваните роботи към траекторията на водещия робот, като се запазва предварително дефинираната структура на формацията.

**– Алгоритъм за локализиране и следене на замърсени зони с използване на роботизирани агенти в структурата на хибридна БСМ (в публикация [B7]).**

Представя се възможността за включване на мобилни роботи в структурата на БСМ, което би спомогнало за разрешаване на проблемите, свързани с откриването и наблюдението на замърсявания на околната среда. Целта е да се създаде адаптивна сензорна система с интелигентно поведение, което да открива и проследява периметъра на замърсената зона, където определени параметри на околната среда нарушават дефинираните прагове. Роботизираният агент може да осигури гъвкавост в позиционирането на мрежовите сензори и да позволи надеждно събиране и трансфер на информация. Предложеният алгоритъм дефинира състояния на агентите (роботизирани сензорно възли) и правила за тяхната смяна и приоритизиране на задачите с цел ефективно изпълнение на задачата за локализиране и следене на замърсени зони. Координираното движение на мобилните агенти в структурата на мрежата позволява промяна на обхвата на мрежата с цел откриване и ефективно проследяване на замърсения участък. Това прави възможно определянето както на местоположението, така и на размера на откритото замърсяване. Предложеният подход е изследван с помощта на лабораторен прототип на БСМ с два наземни мобилни робота, но може да се приложи за всякакъв вид агенти вкл. и летящи (напр. дронове). Резултатите бяха публикувани в IFAC-PapersOnLine, Volume 49, Issue 29, 2016, Pages 247-252, ISSN: 24058963, DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.11.061 (SJR 0.26) под заглавие „Perimeter Detection and Surveillance of Polluted Areas by Robotized Agents in a Hybrid Wireless Sensor Network“ [B7].



### I.3. Приноси в областта на роботиката

Приносите в тази група обединяват резултатите от приложението на автоматизираните системи за обработка на информация и управление в областта на Роботиката. Публикации [B9] и [B10] представят алгоритми за автономно управление на мобилни роботи в динамично изменяща се среда, включително алгоритми за извличане на необходимата информация за средата, взимане на решения при непълни, несигурни и променящи се данни. Също така реализирани са алгоритми за управление чрез жестове с прилагане на статични и динамични команди с използване на с Microsoft Kinect [B8].

3.1) **Разработка на алгоритми за ефективно взаимодействие между робот(и) и оператор(и) посредством интерфейса за управление с жестове.** Разработен е алгоритъм за управление с жестове на летящ мобилен робот. Реализирано бе изпълнение на маневри от четирироторни хеликоптери Parrot AR. Drone посредством жестов интерфейс с оператор при използване на Microsoft Kinect. Резултатите бяха публикувани в глава от книга със заглавие „Autonomous Flight Control and Precise Gestural Positioning of a Small Quadrotor“ от поредицата “Computational Intelligence” (SJR=0.184) на Springer с заглавие “Learning Systems: From Theory to Practice” с редактори Sgurev V., Piuri V., Jotsov V. [B8]. В нея наред с интерфейса за управление с жестове е представен нов подход за управление на полет в затворени помещения на квадрокоптер. Той е подходящ за дейности по инспектиране на закрити помещения в труднодостъпни места на големи промишлени съоръжения, чието състояние създава риск за персонала, както и при сгради, разположени в силно застроени градски среди. За автоматичното управление на полета са приложени допълнителни външни управляващи контури. С предложената схема за управление, четирироторният хеликоптер може да работи и в полуавтономен режим, като приема и инструкции, базирани на жестове, за изпълнение на допълнителни маневри, целящи получаване на по-добра информация от бордовите сензори за инспектираните конструкции и обекти.

3.2) **Разработка на алгоритми и методи за извличане на необходимата информация за средата с цел използването ѝ в алгоритми за взимане на решения при непълни, несигурни и променящи се данни и алгоритми за управление на движението.**

– **Разработен е алгоритъм за извличане на необходимата информация за средата чрез използване на дълбочинна конволюционна невронна мрежа.** За целта се използва USB камера, която осигурява суровата информация за средата. Тя се използва за офлайн обучение на конволюционна мрежа с подходящо подбрана структура. В резултат мрежата може да разпознава целта, за която е обучена, в динамично изменящи се условия. Разпознаването на обекти е важно изискване, когато става въпрос за алгоритми за управление на мобилни роботи, опериращи в



обща среда с човек, както и в случаи, изискващи работа във формация. Подробно описание на алгоритъма и неговото приложение са публикувани в [B10].

- **Разработен е алгоритъм за извличане на необходимата информация за средата чрез използване на 2D лазерен далекомер.** С цел създаването на ефективен и изчислително облекчен алгоритъм за избягване на препятствия, бе използвано нетривиално представяне на данните от 2D LRF (Laser Range Finder, Лазерен далекомер), при което не е нужно 2D представяне на вътрешната среда. Заедно с това бяха дефинирани правила за предварителна обработка на постъпващите от 2D LRF данни поради възможността за наличие на зашумени данни и/или данни с подвеждаща (невярна) информация. В резултат измерванията от 2D лазерния далекомер отстояния бяха представени като сегменти, които ще бъдат разглеждани като отделни обекти от разработените алгоритми за следене на динамични цели от мобилни роботи. Към всеки сегмент се асоциират параметри като геометричен център, най-близко отстояние, ъгли на сканиране на 2D LRF и др., които в последствие се използват за създаване на алгоритъм за откриването на подвижната цел и нейното следене. Подробно описание на алгоритъма и неговото приложение са публикувани под заглавието „*Model-Free Detection and Following of Moving Objects by an Omnidirectional Mobile Robot using 2D Range Data*“ в списанието IFAC-PapersOnLine, 51 (22), pp. 226-231. (SJR=0.26) (публикация [B9]).
- **Разработен е алгоритъм за автономно управление на движението с взимане на решения при непълни, несигурни и променящи се данни, базиран на алгоритмите за извличане на необходимата информация за средата чрез използване на 2D лазерен далекомер и разпознаване на динамична цел с използване на дълбочинна конволюционна невронна мрежа.** Автономното управление е изследвано в сценарии за следене на подвижни обекти от холономна мобилна платформа KUKA youBot, като за цел е възприет втори мобилен робот, разпознат чрез алгоритъма с използване на конволюционна невронна мрежа. След откриването на целта роботът я следва, спазвайки предварително зададени разстояние и ориентация до целта, като се разчита единствено на информацията от 2D лазерния далекомер. Информацията между отделните модули в системата се обменя в създадена за целта ROS (Robot Operating System) мрежа. Предложените алгоритми за разпознаване на цел с дълбочинна невронна мрежа и следене с данни от 2D лазерен далекомер е публикувано със заглавие „*Development of Mobile Robot Target Recognition and Following Behaviour Using Deep Convolutional Neural Network and 2D Range Data*“ в списанието IFAC-PapersOnLine, 51 (30), pp. 210-215 (SJR=0.26) (публикация [B10]).



## II. Приноси в научните трудове извън включените като равностойни на монографичен труд

### II.1. Предложени са алгоритми за невронно-размито моделно-предсказващо управление

Предложени и изследвани са алгоритми за моделно-предсказващо управление с използване на невронно-размит модел. Разработените методи за моделиране и идентификация, на базата на невронно-размити структури, в комбинация със задачата за предсказване, допринасят за ефективното управление на нелинейни многомерни обекти. Целта е да се изработи нова стратегия за управление - опростена реализация за проектанта и опростено изпълнение за крайните потребители на системи за управление.

Основно място в разработките заема предложеният подход за построяване на нелинеен невронно-размит модел с механизъм за извеждане на Такаги-Сугено. Той се използва при моделиране както на едномерни системи (чрез ARX модел), така и на многомерни такива (чрез модел в пространството на състоянията - [Г17]). Предложен е рационален алгоритъм за пряко решение на оптимизационната задача за предсказващо управление чрез стъпково решаване на система от уравнения, в която участват предсказаните стойности от предсказващия невронно-размит модел. Разработен е втори алгоритъм за решение на оптимизационната задача за предсказващо управление (с ограничения на входно-изходните променливи) чрез прилагане на метода на квадратичното програмиране, в който участват предсказаните стойности от предсказващия невронно-размит модел.

Предимството на предложените подходи се състои в адаптивността на модела в структурата на предсказващия регулатор. Именно това позволява ефективното управление на сложни нелинейни системи като изпарителна система [Г17], химичен каталитичен реактор [Г3], лиофилизация [Г2] и [Г15], турбинен генератор [Г1] и др.

[Г1] е посветена на управлението на нелинейни обекти чрез използване на нелинейно моделно предсказващо управление. Предлага се невронно-размита структура като едно ефективно средство за моделиране на нелинейни обекти. От своя страна този модел се използва като предсказващ в паралелно разпределен алгоритъм за моделно предсказващо управление. В този доклад предложеният невронно-размит предсказващ регулатор е приложен в нелинейна система за управление на хидро-турбинен генератор. Работоспособността му е потвърдена чрез симулационни изследвания в средата на Матлаб/Симулинк.

Публикация [Г2] е посветена на моделирането и управлението на процеса лиофилизация, широко използван във фармацевтичната промишленост за производството на сухи лекарства и ценни биопродукти, така че те да могат продължително и лесно да се съхраняват при стайна температура. Тъй като процесът лиофилизация е свързан с големи



енергийни загуби, то изниква необходимостта от използване на ефективни стратегии за управление с цел намаляване на тези загуби. В този аспект статията е описва две методологии за прилагане на модела на Хамерщайн чрез използване на различни представяния на входно-изходните данни в моделите в структурата на моделно-предсказващия регулатор. Нелинейността на системата се моделира лесно с помощта на механизъм за извеждане на Такаги-Сугено. Като оптимизационна процедура в предсказващия регулатор се използва стандартен градиентен метод за и реализация на квадратично програмиране на Hildreth. Сравнение между предложените стратегии за управление се прави чрез симулационни експерименти на лиофилизационен процес. Резултати от управлението на същия процес но с прилагане на метода на Нютон при решаване на оптимизационната задача са представени и в [Г15].

В [Г3] е изследвано влиянието на оптимизационния подход на Левенберг-Маркуард за изчисляване на управляващите сигнали на моделно-предсказващия регулатор. За предсказване на бъдещото поведение на системата, се използва класическа база с размити правила и механизъм за извеждане на Такаги-Сугено. Направено е сравнение чрез прилагане на градиентни алгоритми за оптимизация и метод на Нютон-Рафсън. Ефективността на предложените стратегии за оптимизация е демонстрирана чрез експерименти в среда Матлаб при управление на нелинейна система (модел на каталитичен реактор).

Публикация [Г6] предлага подход за управление на двусвързана система с обобщено предсказващо управление с използване на едномерен невронно-размит модел. Изследва се възможността за използване на предсказващото управление при системи със сложни взаимовръзки между основните контури на управление. За целта се използва симулационен модел на каскада от четири резервоара с два входа (дебита на постъпващата вода) и два изхода (нивото в два от резервоарите). Преминаването на вода през останалите два резервоара представлява кръстосаните връзки в системата. Прилагат се четири предсказващи регулатора с модели на Такаги-Сугено по един в основните контури и по един за всяка кръстосана връзка с цел създаване на автономност на управлението.

Друг сложен технологичен обект – многомерна изпарителна система, е изследван в [Г17]. Предложен е многомерен моделно-предсказващ регулатор с невронно-размит наблюдател на състоянията. Полученият модел на изпарителната система представлява описание на системата в пространството на състоянието се използва в оптимизационната процедура на предсказващия регулатор. Предложеният алгоритъм за интелигентно моделно-предсказващо управление е изследван в симулационната среда на Матлаб/Симулинк.



## II.2. Предложени и изследвани са алгоритми за интелигентно управление с невронни мрежи, размита логика и невронно-размити структури

Предложеният в изследване [Г13] нов метод за обучение на невронно-размити мрежи, за разлика от градиентното обучение, управлява динамиката на грешката. Последната се дефинира като разлика между текущия и желания изходен сигнал на мрежата и се описва чрез диференциално уравнение. В отличие от градиентните методи, които минимизират функцията на грешката, в предложени алгоритъм обучаваните параметри се настройват по начин, че да принудят грешката да удовлетвори това устойчиво уравнение. С други думи, обучаващите правила биха могли да се разглеждат като управлявана динамична система, при което настройваните параметри да се считат за състояния на системата, коригиращите членове по отношение на техните текущи стойности да се интерпретират като управляващ сигнал, а сигналът на грешката да се разглежда като изходен сигнал. Предложените алгоритми се отличават с бърза сходимост (висока скорост на обучение) и устойчивост. Доказана е сходимостта им и са посочени необходимите условия за това. Предложените алгоритми за обучение са рекурсивни и са реализирани чрез размити невронни мрежи „Такаги-Сугено-Канг“, с Гаусови функции на принадлежност. Подобна структура е използвана в [Г4] за интелигентно адаптивно управление на мелница за цимент. Наличието на робастен алгоритъм за онлайн обучение, базиран на прякото използване на теория за управление в режим на хлъзгане, се прилага както за моделиране на процеса така и за неговото управление. Резултатите от симулационните изследвания, проведени с експериментално верифициран модел на мелницата, показват бързата сходимост на предложени алгоритъм и ефективната работа на системата. Също така предложеният подход позволява обработка на неопределености и промени в параметрите на модела на обекта.

Втора група публикации - [Г16], [Г19] и [Г24] допринася с разработените адаптивни ПИД регулатори, реализирани с невронно-размити мрежи. В [Г16] е разгледан метод за проектиране на нелинейни размити ПИД регулатори. Нелинейният размит ПИД регулатор от една страна, може да се прилага успешно в системи за управление съдържащи определен клас нелинейности. От друга страна той може да наподобява конвенционалния ПИД регулатор. В тази работа се описва структурата и реализацията на размит ПИД регулатор с невронно-размита интерпретация, който е предназначен за целите на нелинейното управление. В механизма на Такаги-Сугено и приложените размити правила се съдържа линейна функция, аналогична на диференчното уравнение на съответния конвенционален ПИД регулатор. Представена е оригинална постановка за обучение на невронно-размитата структура на регулатора, при която се определят оптималните стойности на коефициентите във всяка една линейна функция в размитите правила. Следвайки аналогията с цифровия регулатор са разработени две форми на размития регулатор – позиционна и скоростна. Размитият регулатор е изследван при управление на два технологични обекта – температура и ниво. Предложеният в [Г16] алгоритъм е развит в [Г19] със замяна на тип-1 триъгълни

функции на принадлежност с Гаусови от тип-2. Тази модификация допринася за по-ефективното отработване на неопределености и нелинейности в системата. Предложен е алгоритъм за адаптация на невронно-размита мрежа с тип-2 функции на принадлежност базиран на обучение с обратно разпространение на грешката. Представени са симулационни резултати за управление на каталитичен реактор. Публикация [Г24] предлага интелигентно управление на нелинейни двусвързани системи (системи с два входа и два изхода – ТИТО). Използват се невронно-размити ПИД регулатори с отчитане влиянието на кръстосаните връзки в двусвързаната система. По този начин се подпомага работата на компенсаторите, които позволяват автономност на двата контура в системата. Работоспособността на предложения алгоритъм е потвърдена от чрез симулационен модел на каскада от четири резервоара, в която се управляват нивата само два от тях.

Публикации [31] и [32] представят алгоритми за компенсация на влиянието на триенето при управлението съответно на мобилни роботи и роботи-манипулатори. Предложените алгоритми използват невронно-размити структури с приложение на тип-2 размита логика.

### **II.3. Предложени са подходи за бързо прототипиране на системи за изследване на алгоритми за събиране, обработка и управление на информация**

Съществен момент при проектирането и изследването на алгоритми за автоматизирана обработка на информация и управление е възможността за провеждане на експерименти в реално време. Не винаги обаче е възможен достъпа до цялостните системи. В повечето случаи не може да се разчита и на наличие на съответстващи им симулационни модели. Именно поради това се налага изграждането на лабораторни прототипи на тези системи, които освен за изследователски цели, често се използват и в учебния процес.

В [Г14] е представен подход за изграждане на лабораторна система за управление, базирана на софтуер за работа в реално време WinCon и входно-изходна платка MultiQ на фирма Quanser. Системата позволява разработването и тестването в реално време на управляващи алгоритми синтезирани в средата на Симулинк.

В [Г20] и [Г22] е описана основната концепция за изграждане на лабораторен прототип на хибридна роботизирана безжична сензорна мрежа (БСМ), която дава възможност за изследване на алгоритми за: i) събиране на данни от мобилните и стационарни сензори; ii) анализ и обработка на постъпващите данни с осигуряване на комуникацията между роботизираните сензори; iii) управление на безжични роботизирани сензорни мрежи. Така изградената хибридна БСМ е успешно използвана за доказване на работоспособността на няколко алгоритъма за управление на мобилни сензорни възли [Г8], [Г11], [Г20], [Г22] и [33].

Публикации [Г21] и [Г23] представят два подхода за изграждане на системи за бърза разработка (в средата на Матлаб-Симулинк) на управляващи алгоритми и тяхното тестване в



реално време. В [Г21] се използва възможността за изследване на различни системи (обекти) моделирани в средата на Матлаб-Симулинк и извеждането на получените данни извън компютъра с помощта на модул за обработка на данни в реално време на фирмата Inteco. Този подход е известен като Hardware in the loop (HIL) и е често използван при проектиране и изследване на алгоритми за управление на сложни системи. Същият модул за преобразуване на данни е използван и в [Г23], където е предложен графичен интерфейс за управление технологичен процес.

#### **II.4. Предложени са алгоритми за адаптивно (интелигентно) управление с приложение в индустриални системи**

Реализирани са алгоритми за адаптивно управление с приложение в индустриални системи. В публикации [Г5] и [Г10] е проучена възможността за вграждане на интелигентни алгоритми за управление в сервозадвижвания с безчеткови двигатели, намиращи приложение в роботиката и оценка на тяхната работоспособност. Изследвани са приложимостта и работоспособността на интелигентни алгоритми за позиционно управление на комерсиални сервозадвижвания, съответно с приложение на размита логика и изкуствени невронни мрежи. Изследвани са електродвигатели на фирма Panasonic използвани в ставните задвижванията при специализираните работи-манипулатори от сериите Diamond и Equipe, произвеждани в завода на фирма Milara International, гр. Пловдив. В тези манипулатори към настоящия момент се използват серво-контролери, производство на фирма Logosol. В завода се провеждат също така проучвания, касаещи възможността за евентуално бъдещо използване и на серво-контролерите, произвеждани от фирма Picomotion. Вградените алгоритми на ниско ниво за позиционно управление на електродвигателите, реализирани и в двата типа микроконтролери към момента прилагат единствено ПИ(Д) закон за управление. От друга страна промени в тези алгоритми могат да бъдат осъществявани с използване на развойната програмна среда Motion Control Framework, използваща специализирания програмен език Motion Control Language 5 (MCL 5). Алгоритмите са успешно имплементирани в средата за управление на изследваните мотори.

Размита логика е използвана за решаване на специфични проблеми при управлението на сервозадвижвания в различни приложения (публикации [Г9] и [Г18]). В [Г9] с използване на размита логика са намалени вибрациите при серво механизъм с активно затихване. [Г18] представя адаптивна система с еталонен модел (MRAS) за оценка на скоростта на асинхронни електрозадвижвания. В статията се анализира метод за оценка на скоростта на база невронен MRAS модел, ориентиран по пълния магнитен поток на ротора. Настройваемият модел се реализира като невронна мрежа и скоростта се адаптира посредством градиентен алгоритъм, а скоростта на обучение се определя посредством размит регулатор на Мамдани.



## **II.5. Разработени са алгоритми за извличане на информация и управление**

Разработен е алгоритъм за управление с жестове на летящ мобилен робот - четирироторни хеликоптери Parrot AR [Г7]. Реализирано бе изпълнение на маневри обвързани със статични жестове, които се разпознават Microsoft Kinect. Управляващите команди се предават посредством жестов интерфейс с оператор.

В [Г12] е разработен е алгоритъм за автономно управление на движението с взимане на решения при непълни, несигурни и променящи се данни, базиран на алгоритмите за извличане на необходимата информация за средата чрез използване на 2D лазерен далекомер и разпознаване на динамична цел с използване на Microsoft Kinect сензор. Автономното управление е изследвано в сценарии за следене на подвижни обекти от холономна мобилна платформа KUKA youBot, като за цел е възприет първият подвижен обект в работното пространство на робота, който е в близост до човек и е засечен чрез алгоритъма за обработка на данни от 2D лазерния далекомер. При засичане на движещ се обект предложеният алгоритъм проверява за присъствие на човек в близост до него чрез данни за скелета от сензора Microsoft Kinect. След откриването на целта роботът я следва, разчитайки единствено на информацията от 2D лазерния далекомер.

## **II.6. Предложени са структури за БСМ с ниска консумация на енергия**

Един от начините за постигане на комуникация между възлите на безжичната сензорна мрежа е използването на WIFI връзка. Изборът на комуникационен протокол е от съществено значение, когато се прилага към микрокомпютри с един чип или микропроцесори, които използват батерии, и вида на комуникацията, който трябва да се има предвид, е един към много/всички. HTTP е един от протоколите, които могат да се използват през WIFI връзката. Въпреки това, тъй като HTTP не е много подходящ за двупосочна комуникация и практическото му използване за обмен на данни между мрежовите сензорни възли, може да създаде допълнителни затруднения поради изисквания като уточняване на портовете (и може би също IP адреса) за всеки мрежов компонент. Допълнителни проблеми могат да възникнат и при необходимост от предаване на управляващи команди, ако алгоритъмът за управление го изисква. Нещо повече, HTTP протоколът има голям пакет и консумира много енергия, което е проблем, особено в случаите, в които захранването на възлите е чрез батерии.

В [Г8] се предлага алтернативен вариант за обмен на данни, при който е обърнато специално внимание на енергийната ефективност на създадената роботизирана БСМ [7]. Използван е протоколът Message Queue Telemetry Transport (MQTT) в комбинация с "IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks" – 6LoWPAN мрежа, характеризираща се с ниска консумация на енергия. Конфигурирани са три прототипа на работизирани сензорни

възли, които използват 6LoWPAN за предаване на данни към облака. Така е създаден работещ прототип на роботизирана БСМ с ниска консумация на енергия.

Водени от същата идеята за ниска консумация в [Г11] е предложена структура на БСМ, която този път използва Low-Power Wide-Area Network (LoRaWAN) устройства в качеството на сензорни възли. В публикацията е представена е концепцията за проектиране на мрежа с използване на мрежа с ниска мощност. Може да се използва за приложения за наблюдение и контрол. Обобщават се решения, свързани с мрежовите протоколи и стандарти за индустриални приложения. В разработения мрежов проект за обмен на данни е използван MQTT протокол и мрежа с ниска консумация на енергия (LoRaWAN). Основната цел е насочена към нетната експлоатация чрез комбиниране на ниско енергиен протокол и метод на предаване. Представено е заявление за целите на сигурността. Разгледани са предимствата на разработената мрежа с MQTT и LoRa. Дадени са резултати от реално тестване и проверка с изпращането и получаването на данни между свързаните възли.

**Таблица No.1 Разпределение на научните трудове по рубрики**

Глава от книга	Статии в межд. списания и поредици с импакт фактор или ранг	Публикации индексирани в Scopus и/или WoS	Други
<b>2</b> (B8, 32)	<b>10</b> (B1, B3, B6, B7, B8, B9, B10, 31, 32, 33)	<b>25</b> (B1-B10, Г1-Г12, 31-33)	<b>12</b> (Г13-Г14)

**Таблица No.2 Класификация на трудовете според мястото на кандидата в списъка на съавторите**

1-ви съавтор	2-ви съавтор	3-ви съавтор	4-ти съавтор	5-ти съавтор	Брой публикации
<b>15</b> (B3, B4, B5, B7, B9, Г5, Г6, Г8, Г17, Г19, Г 20, Г22, Г23, 31)	<b>11</b> (B8, B10, Г2, Г9, Г12, Г13, Г15, Г18,, Г24, 32, 33)	<b>5</b> (B6, Г3, Г4, Г10, Г21)	<b>5</b> (B1, B2, Г1, Г11, Г14)	<b>1</b> (Г7)	<b>37</b>

