



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ



ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

Виктор Кънчев Данев

**ПРОЕКТИРАНЕ НА “УМНИ КЪЩИ” ПОД ОТВОРЕНА
СИСТЕМА ОРЕНДВАВ**

ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен “Доктор”
Професионално направление: 4.6. “Информатика и компютърни науки”
Докторска програма “Информатика”

Научен ръководител

проф. д.н. Даниела Борисова

2023

Съдържание

Използвани термини и съкращения	5
Увод	7
Глава 1. Анализ на предизвикателствата в областта на интернет на нещата и техниките, приложими при проектиране на системи, използващи интернет на нещата	11
1.1. Дефиниции, характеристики, архитектура на IoT	11
1.1.1 Описание на IoT	12
1.1.2. Изследователски направления	19
1.1.3. Приложения на IoT	21
1.1.4. Предизвикателства.....	25
1.1.5 Интелигентен дом	27
1.2. Анализ на техники и средства, приложими при проектиране на системи, използващи IoT	31
1.2.1 Софтуер за управление на IoT хардуерните устройства	31
1.2.2 Платформи за домашна автоматизация с отворен код.....	33
1.3. Вземане на решения по множество критерии (MCDM).....	37
1.3.1 Ролята на MCDM при обработката на противоречиви критерии при вземането на решения.....	38
1.3.2 Концепцията за недоминирани решения в MCDM.....	40
1.3.3 Техники на многокритериалния анализ при вземане на решения	42
1.4. Изводи.....	47
1.5. Цел и задачи.....	49
Глава 2. Моделиране и проектиране на умни къщи чрез подход за вземане на решения по множество критерии	50
2.1 Многокритериален подход при проектиране на интелигентен дом	50
2.1.1 Значение на многокритериалното вземане на решения при проектиране на интелигентни домове	51

2.1.2	Техники за многокритериално вземане на решения и тяхното приложение в интелигентните домове.....	51
2.1.3	Използване на MCDM при вземането на решения при проектиране на интелигентен дом.....	55
2.1.4	Сценарии за интелигентен дом	57
2.1.5	Предизвикателства и противоречия при прилагането на MCDM към интелигентните домове.....	62
2.2.	Модел за вземане на решение за избор на софтуерна платформа с отворен код за проектиране на домашна автоматизация с IoT.....	67
2.2.1	Характеристики на платформите за домашна автоматизация с отворен код за управление на IoT	68
2.2.2	Многокритериален модел за оценка и класиране на платформи за домашна автоматизация с отворен код.....	71
2.2.3.	Анализ на резултатите	74
2.3.	Модел за определяне на компетентности по IoT.....	77
2.3.1	Ключови индикатори за измерване	78
2.3.2	Многокритериален математически модел за оценка на знания на специалистите в областта на IoT и способността за работа в екип	80
2.4	Изводи.....	81
Глава 3.	Числено тестване на предложените модели, предложени за реализиране на умнен дом.....	84
3.1	Изграждане на интелигентна домашна среда.....	84
3.1.1	Хардуерно решение за ефективно управление на IoT-базираното интелигентно отопление на дома	85
3.1.2	Софтуерно решение за автоматизация на отоплението на умнен дом.....	90
3.2.	Числено симулиране на предложения проект на интелигентно отопление чрез софтуер за домашна автоматизация с отворен код OpenHAB	92
3.2.1.	Входни данни.....	92

3.2.2. Резултати и анализ	94
3.3. Числено тестване на предложения модел за определяне компетентности по IoT базиран на групи от ключови индикатори	98
3.3.1. Входни данни.....	98
3.3.2. Анализ на резултатите	100
3.4 Изводи.....	103
Заключение – резюме на получените резултати	106
Приноси	108
Насоки за бъдещи изследвания	109
Списък на публикациите по дисертационния труд.....	111
Списък на забелязани цитирания.....	112
Декларация за оригиналност на резултатите	113
Библиография.....	114

ИЗПОЛЗВАНИ ТЕРМИНИ И СЪКРАЩЕНИЯ

ИКТ – информационни и комуникационни технологии

Internet of Things (IoT) – Интернет на нещата

ITU – Международен съюз по далекосъобщения

SOA – архитектура, базирана на софтуерни услуги

WiFi – технология на безжичната мрежа (WLAN) базирана на спецификациите от серията IEEE 802.11.

ZigBee – базирана на IEEE 802.15.4 спецификация за набор от комуникационни протоколи на високо ниво

Z-Wave – нискоенергиен и радиочестотен комуникационен протокол

NFC (Near Field Communication) – протокол за комуникация

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) – мрежов протокол с ниска мощност, широка зона (LPWA), предназначен за безжично свързване на „неща“, работещи с батерии, към интернет в регионални, национални или глобални мрежи

6LoWPAN (Low Power Wireless Personal Area Network IPv6) – комуникационен протокол за интернет на нещата

REST (REpresentational State Transfer) – софтуерна архитектура за реализация на уеб услуги

MQTT – стандартен протокол за съобщения на OASIS за интернет на нещата (IoT)

Raspberry Pi – серия от едноплаткови компютри

HTML5 – маркиращ език за създаване и предоставяне на съдържание в уеб пространството (World Wide Web)

MCDM (Multiple-Criteria Decision-Making) – многокритериално вземане на решения

MADM (Multiple Attribute Decision-making) – вземане на решения при много атрибути

MODM (Multiple Objective Decision Making) или **MODA (Multiple Objective Decision Analysis)** – вземане на решения при много цели или многокритериален анализ

MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) – теория за многоатрибутната полезност

SMART (Simple Multi Attribute Rating Technique) – Проста техника за оценяване на множество атрибути

SAW (Simple Additive Weighting) – модел на претеглената сума

WPM (Weighted Product Model) – модел на претегленото произведение

WSM (Weighted Sum Model) – модел на претеглената сума

AHP (Analytic Hierarchy Process) – Аналитичен йерархичен процес

TOPSIS – Техника за подреждане на предпочитанията по сходство спрямо идеалното решение

PROMETHEE – метод на организация за класиране по предпочитания за обогатяване на оценките

ELECTRE (Elimination Et Choice Translating Reality) – елиминиране и избор, отразяващи реалността

GRA (Grey Relational Analysis) – техника, която оценява връзката между алтернативите и критериите, като разглежда теорията на сивата система

УВОД

Бързото развитие на ИКТ е предпоставка за навлизането на нови технологии. Интернет на нещата (IoT) се отнася до взаимосвързана мрежа от физически устройства, превозни средства, домакински уреди и други елементи, вградени с електроника, софтуер, сензори и свързаност, което позволява на тези обекти да събират и обменят данни. Той трансформира начина, по който живеем, работим и взаимодействаме със света, тъй като позволява на устройствата да комуникират помежду си и с хората, за да изпълняват широк набор от задачи и да автоматизират различни процеси.

Интернет на нещата има своите корени в ранните дни на интернет, но едва наскоро се превърна в основна концепция с бързия напредък в цифровите технологии като безжични мрежи, облачни изчисления и анализ на големи данни. IoT става все по-разпространен и се очаква да продължи да расте експоненциално през следващите години.

Едно от ключовите предимства на IoT е, че може да автоматизира различни процеси, намалявайки необходимостта от човешка намеса. Например устройства с активиран IoT могат да се използват за наблюдение на здравето на културите във ферма, като предупреждават фермерите за всякакви проблеми, като липса на вода или излагане на вредители, така че те да могат да предприемат проактивни стъпки за коригиране на ситуацията. IoT може също да се използва за наблюдение на моделите на трафика в градовете, позволявайки светофарите да се регулират динамично, за да се намалят задръстванията и да се подобри трафикът.

Друго основно предимство на IoT е възможността за събиране и анализиране на големи количества данни. IoT устройствата генерират огромно количество данни, които могат да се използват за придобиване на ценна представа за различни аспекти на живота, като потребителско поведение, потребление на енергия и дори здравеопазване. Анализирайки тези данни, организациите могат да вземат решения, базирани на данни, подобрявайки ефективността и подобрявайки потребителското изживяване.

IoT също има потенциала да революционизира начина, по който работим. Устройствата, поддържащи IoT, могат да се използват за наблюдение на производителността на служителите и идентифициране на области за подобрене,

както и за автоматизиране на много рутинни задачи. Това може да помогне на организациите да станат по-гъвкави и ефективни, позволявайки им да реагират бързо на промените на пазара.

Въпреки това, докато ползите от IoT са многобройни, има и значителни предизвикателства и рискове, свързани с него. Едно от основните опасения е сигурността на IoT устройствата и данните, които генерират. Тъй като IoT устройствата събират и предават чувствителна информация, те са уязвими за хакерство и кибератаки, които могат да доведат до сериозни последствия, като кражба на данни, неоторизиран достъп до поверителна информация или дори физическо увреждане на хора.

Друго предизвикателство е поверителността. IoT устройствата могат да събират и съхраняват огромно количество лична информация, което поражда опасения за това как се използват тези данни и кой има достъп до тях. Съществуват и опасения относно дългосрочното въздействие на IoT върху заетостта, тъй като автоматизацията и роботиката вероятно ще изместят много работни места в бъдеще.

Интернет на нещата е бързо развиваща се технология, която трансформира начина, по който живеем, работим и взаимодействаме със света. IoT има потенциала да донесе множество ползи, като автоматизация, подобрена ефективност и подобро потребителско изживяване. Съществуват обаче и значителни предизвикателства и рискове, свързани с IoT, включително сигурността и поверителността, които трябва да бъдат разгледани, за да се гарантира, че IoT се приема и използва по отговорен и устойчив начин.

Умните домове са вид среда за живеене, която включва технологията Интернет на нещата (IoT) за автоматизиране на различни аспекти на дома, като осветление, отопление, сигурност и забавление. Интелигентният дом е свързана мрежа от устройства, които работят заедно, за да осигурят безпроблемно, интуитивно и удобно жизнено изживяване.

Едно от основните предимства на интелигентните домове е удобството и комфорта, които предоставят. Например, с интелигентен термостат можете да регулирате температурата в дома си от вашия смартфон, независимо къде се намирате. По същия начин можете да управлявате осветлението и уредите си с гласови команди, което прави живота по-лесен и удобен. Интелигентните домове могат също така да

осигурят подобрена сигурност с функции като сензори за врати и прозорци, детектори за движение и камери за наблюдение, които могат да ви предупредят в реално време, ако бъде открито нещо подозрително.

Интелигентните домове също могат да бъдат енергийно ефективни, тъй като могат автоматично да регулират осветлението, отоплението и охлаждането и други уреди, за да оптимизират потреблението на енергия въз основа на вашите навици и график. Това не само спестява енергия и намалява разходите, но също така помага за намаляване на въглеродния отпечатък и защита на околната среда. Освен това интелигентните домове могат да осигурят усъвършенствани развлекателни изживявания с функции като домашно кино, системи за игри и интелигентни високоговорители, които ви позволяват да се наслаждавате на любимото си съдържание в удобна и завладяваща среда.

Съществуват обаче и някои предизвикателства, свързани с интелигентните домове. Едно от тях е цената, тъй като системите за интелигентен дом могат да бъдат скъпи както за инсталиране така и за поддръжка. Друго предизвикателство е съвместимостта, тъй като различните устройства може да не работят заедно безпроблемно, причинявайки разочарование и неудобство. Освен това съществуват опасения относно поверителността и сигурността, тъй като интелигентните домове генерират огромни количества данни, които могат да бъдат уязвими за хакерство и кибератаки. Тези данни могат да се използват и за наблюдение на вашите навици и предпочитания, което може да породи опасения относно поверителността и използването на тази информация.

Настоящият дисертационен труд анализира методи и средства за проектиране на интелигентните домове. Акцентът в изследването е върху многокритериалното вземане на решения при избора на платформи за домашна автоматизация с отворен код, архитектура за автоматизация на IoT-базирано интелигентно отопление на дома, както и софтуерното решение за тази автоматизация, включително и модел за определяне на екип за реализиране на проекти в областта на IoT.

Дисертационният труд е структуриран в увод, 3 глави, заключение, приноси, насоки за бъдещи изследвания, списък на публикациите, списък на забелязаните цитирания, декларация за оригиналност на резултатите и библиография.

В **Глава 1** е направен обзор на технологиите, стандарти и приложения на IoT. Разгледани са различните аспекти на интелигентния дом като част от парадигмата на IoT. Анализирани са предимствата и недостатъците на комерсиалния софтуер и софтуерни платформи с отворен код за използване в домашната автоматизация. Направен е преглед на методи на многокритериалното вземане на решения при избора на подходящи алтернативи за справянето с противоречиви критерии, съпровождащи вземането на решения на сложни проблеми.

В **Глава 2** са описани предложените модели за оценка и класиране на възможните алтернативи при вземане на решения за проект на интелигентен дом с MCDM техники, които позволяват информирано вземане на решения, приоритизиране на алтернативите и оптимизиране на различни аспекти в контекста на интелигентните домове. Представен е модел за вземане на решение за избор на софтуерна платформа с отворен код за проектиране на домашна автоматизация с IoT. За целта са определени основните характеристики на платформите, които са използвани като критерии за оценка. Описан е и предложеният модел, който има за цел да определи необходимите компетентности за реализиране на проекти в областта на IoT и по-специално за домашна автоматизация. Предложеният многокритериален математически модел взема предвид не само знанията в областта на IoT, но също така отчита характеристики на специалистите за работа в екип.

В **Глава 3** са представени проведените числени експерименти на предложените модели за реализирането на умен дом. Описан е реализираният проект на интелигентно отопление, който използва софтуер за домашна автоматизация с отворен код OpenHAB. Представена е архитектурата за автоматизация на IoT-базирано интелигентно отопление на дома, както и софтуерното решение за тази автоматизация. Описани са числените резултати от проведеното тестване на предложеният математически многокритериален модел за оценка и класация на необходимите компетентности за реализиране на проекти в областта на IoT, използвайки две групи от ключови индикатори.

В заключението са резюмирани получените резултати и са посочени някои насоки за бъдещи изследвания, свързани с различни аспекти на създаването на интелигентни домове.

ГЛАВА 1.

АНАЛИЗ НА ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВОТА В ОБЛАСТТА НА ИНТЕРНЕТ НА НЕЩАТА И ТЕХНИКИТЕ, ПРИЛОЖИМИ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА СИСТЕМИ, ИЗПОЛЗВАЩИ ИНТЕРНЕТ НА НЕЩАТА

1.1. Дефиниции, характеристики, архитектура на IoT

Концепцията за интернет е използвана за първи път през 1999 г. от Кевин Аштън (Atlam, Walters & Wills, 2018). От гледна точка на Аштън, Интернет на нещата има потенциала да промени света по различни начини като използването на интернет. Традиционно технологията може да се разглежда и като следваща стъпка в работата на интернет. На практика IoT може да осигури връзка с почти всички обекти в реалния свят (Sharabov & Tsochev, 2020), включително комуникация и сътрудничество чрез интернет (Борисова, Димитрова, Димитров, 2020).

Въпреки че няма общоприета дефиниция на интернет на нещата в академичната и професионалната общност, една от най-широко приетите работни дефиниции на явлениято беше представена от Международния съюз по далекосъобщения през 2012 г. Според Съюза интернет на нещата следва да се разбира като: *глобална инфраструктура на информационното общество, която предоставя възможност за създаване на усъвършенствани услуги чрез свързване на (физически и виртуални) неща от реалния свят въз основа на съществуващи и развиващи се оперативно съвместими информационни и комуникационни технологии* (ITU, 2012).

Интересен преглед на постигането на определение е предоставен от Madakam, Ramaswamy & Tripathi (2015), според който определението за интернет на нещата включва: *"отворена и всеобхватна мрежа от интелигентни обекти, които могат да се самоорганизират, да споделят информация, данни и ресурси, реакции и действия в ситуации и промени в околната среда"*. Освен дефиницията си, авторите предоставят и бърз преглед на най-популярните дефиниции, включително:

1. *Интернет на нещата може да се възприеме като глобална мрежа от свързани физически обекти, която позволява свързаност на всички неща по всяко време, а не само за всички (Kosmatos, Tselikas & Voucouvalas, 2011);*
2. *Интернет на нещата може да означава глобална мрежа, която позволява комуникация между човек и човек, човек и неща, както и неща и неща, които могат да се отнасят до всичко в реалния свят, осигурявайки уникална идентичност на всеки човек и всеки обект (Aggarwal & Lal Das, 2012).*

Отвъд нюансите в посочените формулировки, повечето изследователи в областта на интернет на нещата постигат консенсус, че терминът обикновено означава връзка между хора, компютри и реални обекти чрез интернет. Ключова предпоставка за свързаност в реалния свят е наличието на сензори, които преобразуват сурови данни от физическия свят в цифрови сигнали, които се изпращат до контролен център (Suresh, Parthasarathy & Aswathy, 2014).

1.1.1 Описание на IoT

Интернет на нещата (IoT) се отнася до ежедневните физически устройства, които са свързани с интернет с цел събиране на данни, предаване и обработка, отнасящи се до различни приложения и услуги (Hamza et al., 2021). Като се имат предвид всички тези процеси, трябва да се отбележи, че правилното им функциониране трябва да бъде гарантирано чрез адекватна информационна сигурност (Diesch, 2020). IoT се свързва с големи данни, машинно обучение, изкуствен интелект и разчита на развитието на инфраструктурата за мобилни данни. Мобилната мрежа от пето поколение (5G) осигурява основни предпоставки и повсеместна свързаност за крайните клиенти, включително висока честотна лента, ниска латентност, бързо предаване на данни, висока гъвкавост, за да се даде възможност за огромен брой устройства и др. (Attaran, 2021).

Интернет на нещата често се възприема като "нова парадигма", която принадлежи към следващата вълна от технологични иновации, които насърчават интеграцията между физическия свят и кибер света (Colakovi & Hadžialic, 2018). В допълнение към високотехнологичните услуги, технологията предоставя и високо персонализирани услуги, в които потребителят взаимодейства с конкретни "неща" от физическия свят чрез различни комуникационни модели (Kirchev et al., 2006).

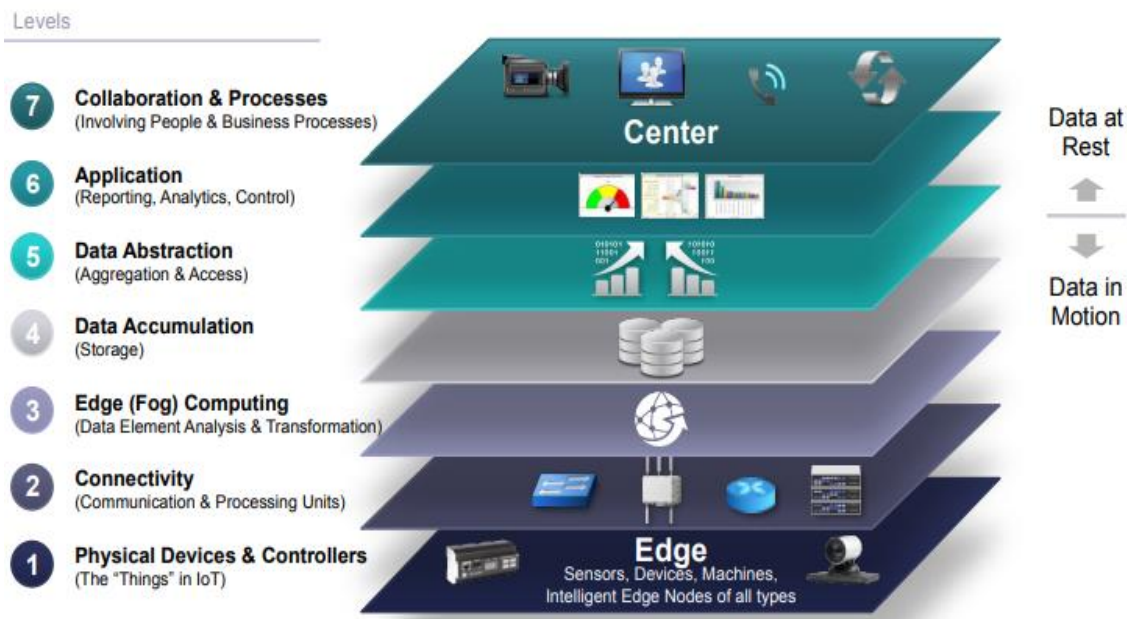
През последното десетилетие технологията "Интернет на нещата" се характеризира с експоненциален растеж. Един от основните фактори, които благоприятстват това, са ниските разходи за производство на сензори, комуникационни протоколи, вградени системи и хардуерни компоненти (Pattar et al., 2018). Основната причина и мотивация за подобно развитие обаче безспорно е неограниченото индустриално приложение на технологията.

Важно е да се отбележи, че Интернет на нещата се основава на интегрирането на различни стандарти и ключови технологии с различни възможности по отношение на сензори, свързаност, съхранение и др. Това налага разработването на модели за събиране на данни от различни устройства (Vodyaho et al., 2020). От друга страна, интензивното използване на тези технологии изисква изследвания за установяване на психологическите и физическите ефекти върху потребителите (Borissova et al., 2020; Tianxing et al., 2021).

Спецификата на интернет на нещата се състои в начина, по който се реализира. Това включва многопластова архитектура и комуникационни технологии, които ще бъдат разгледани на свой ред.

Архитектура на IoT

Въз основа на преглед на различни академични източници обикновено може да се предположи, че архитектурата на интернет на нещата е многопластова архитектура, базирана на услуги (архитектура, базирана на SOA). За да улесни индустрията по отношение на внедряването на технологиите на практика, през 2014 г. Международният съюз по далекосъобщения публикува референтен модел на архитектурата на интернет на нещата, разработен от Cisco, който е представен на Фиг.1.1.



Фигура 1.1. Референтен модел на Интернет на нещата [22]

Този модел съдържа седем слоя, всеки със своите специфични характеристики:

1. *Слой 1 – Физически устройства и контролери.* Този слой представлява "нещата" в технологиите и се състои от огромен брой различни крайни устройства, които получават и изпращат информация. Макар и изключително различни, тези крайни устройства са обединени от следните характеристики: те могат да извършват аналогово към цифрово преобразуване, да генерират данни и да бъдат контролирани чрез интернет.
2. *Слой 2 – Свързаност (комуникационна мрежа).* Най-важната функция на този слой е предаването на информация, която се реализира най-малко на три нива: между различните устройства и мрежата, между различните мрежи, между мрежата и обработката на информация от ниско ниво в слой 3.
3. *Слой 3 – Периферни изчисления.* Това е слой, в който се извършва първичната обработка на информацията, така че тя да може да бъде подготвена за съхранение в слой 4. Основните процеси, които се провеждат тук, включват оценка на данните, форматиране, декодиране и др.
4. *Слой 4 – Събиране на данни.* В този слой данните се преобразуват от състояние на движение в състояние на покой, съхраняват се и се подготвят за използване от по-високи нива.

5. *Слой 5 – Извличане на данни.* Тук данните са обобщени и форматираны, така че да могат да се използват от приложенията по по-ефективен и управляем начин.
6. *Слой 6 – Приложения.* Тълкуването на данните се извършва в този слой. Тя включва няколко приложения, които могат да използват данни от Интернет на нещата като вход.
7. *Слой 7 – Сътрудничество и процеси.* В този последен слой фокусът е върху хората, които работят с данните и как правилните данни могат да достигнат до правилните хора по правилния начин.

Може да се предположи, че този модел, макар и извлечен от индустриалната общност, намира добър консенсус както в бизнеса, така и в академичните среди.

Характеристики на IoT

Кратък и синтезиран преглед на основните характеристики на интернет на нещата е представен в (Atlam, Walters & Wills, 2018). Според тях интернет на нещата се характеризира със следните характеристики:

1. голям мащаб – отнася се до значителния брой включени смарт устройства, които генерират данни;
2. интелигентност – с помощта на софтуерни алгоритми устройствата, включени в мрежите, използвани в Интернет на нещата, се трансформират в смарт устройства;
3. сензори – интернет на нещата не може да бъде реализиран без сензори на обекти във физическия свят;
4. сложни системи – милиарди устройства могат да участват в интернет на нещата;
5. динамична среда – в системата на Интернет на нещата обектите постоянно се включват и изключват;
6. огромни количества данни – тези данни се генерират от многото устройства, участващи в системата;
7. хетерогенност – различни устройства, платформи, операционни системи и услуги участват в системата "Интернет на нещата", която се свързва чрез различни протоколи;
8. минимална консумация на енергия – повечето от устройствата в интернет на нещата работят с минимално количество енергия;

9. свързаност – устройствата в Интернет на нещата имат възможност за достъпност и съвместимост на мрежата;
10. Самоконфигуриране – повечето устройства могат да се самоконфигурират.

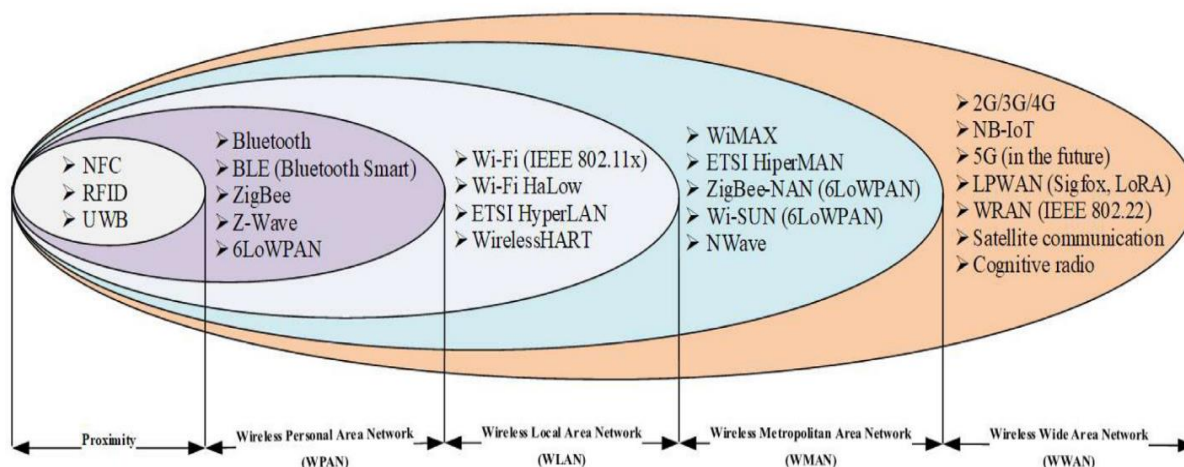
IoT носи със себе си изключителен набор от ползи, но и рискове за организациите, които го прилагат. Част от тях са свързани с управлението на големи данни, което е както негово предимство, така и предизвикателство. Интернет на нещата може да събира данни от технологии за идентификация и проследяване, жични и безжични сензори, мрежи от устройства, подобрени комуникационни протоколи и други интелигентни обекти, които са в постоянен обмен на данни. Това обуславя и непосредствената необходимост от гарантиране на тяхната сигурност и конфиденциалност (Fatkiewa et al., 2020).

Комуникационни технологии и IoT

IoT е концепция за модерния, взаимосвързан свят, който разчита на различни хетерогенни комуникационни технологии в зависимост от проблемната област и качеството на решенията, базирани на концепцията за IoT (Sikimic et al., 2020). IoT идва с няколко приложения от висок клас и има изисквания за по-добра свързаност чрез безжични комуникационни протоколи. Целта на IoT е да създаде интегрирана екосистема, в която устройствата могат да комуникират помежду си чрез интернет мрежата. Това налага постигането на ефективна интеграция между комуникационните технологии Device to Device (D2D) (Bello, Zeadally & Badra, 2017). Ниската консумация на енергия е предпоставка за осигуряване на непрекъсната връзка в реално време на предаваните данни (Bahashwan et al., 2021). Хетерогенността на данните, произхождащи от различни устройства, се разрешава чрез различни комуникационни протоколи, които позволяват на устройствата да работят в мрежа и да си сътрудничат. Някои от основните функции, изпълнявани от протоколите, са да се уточни формата на обмен на данни, да се кодират, да се контролира последователността на обмен и др. Комуникационните протоколи заедно с архитектурата формират гръбнака на IoT системата (Hofer-Schmitz & Stojanovic, 2020).

Интернет на нещата използва много различни комуникационни протоколи, като най-често срещаните са ZigBee, Bluetooth, ZWave, 6LOWPAN и NFC. Фигура 1.2 представя

безжичните комуникационни технологии, използвани в интернет на нещата, според Colakovi & Hadžialic (2018).



Фигура 1.2. Безжични комуникационни технологии за IoT

Често изборът на безжична технология за интернет на нещата не е тривиална задача. Независимо от това, този избор може да се определи както от преобладаващия комуникационен протокол, който е наличен в съвременните комуникационни устройства като смартфони, така и от целта на мрежата (Taylor, 2019).

За пълнота този преглед ще представи основните характеристики на някои от най-често използваните комуникационни технологии в контекста на IoT.

1. **WiFi:** WiFi, заедно с Bluetooth, е най-широко използваният комуникационен протокол от 1997 г. насам. Понастоящем широко се използва общият стандарт 802.11n. Той се основава на IEEE 802.11, но прилагането на 802.11ac също се разраства бързо поради възможността за постигане на ниска латентност и висока скорост в крайните мрежи (Hassani et al., 2021). Въпреки че този протокол е особено удобен за комуникация между устройства, участващи в интернет на нещата, той използва голямо количество енергия. Обикновено WiFi е предпочитаният протокол за прехвърляне на файлове между устройства (Taylor, 2019).
2. **ZigBee:** Протоколът ZigBee е въведен от ZigBee Alliance през 2004 г. и започва да функционира през 2005 г. Той се основава на стандарта с отворен код IEEE802.15.4, който има най-ниска консумация на енергия. ZigBee е подходящ протокол за приложения с нисък обхват на данните, по-дълъг живот на

- батерията и по-добра сигурност (Balan et al., 2019). Протоколът може да работи с различни технологии и често се използва за решения за автоматизация за домашни или промишлени обекти, които работят при ниска консумация на енергия (Kuang & Li, 2021).
3. **Bluetooth:** Bluetooth е и един от най-разпространените комуникационни протоколи с най-дълга история и сравнително малък обхват, обикновено до 10 метра (Krasteva et al., 2005). По-модерните му версии се наричат Bluetooth Smart или Bluetooth Low-Energy (BLE), а най-новата версия Ver. 5.0 технология е разработена и оптимизирана специално за интернет на нещата (Todtenberg & Kraemer, 2019). Той също така въвежда допълнителен файл с интернет протокол. Технологията е предпочитана в интелигентните носими устройства.
 4. Технологията EnOcean: EnOcean е пионер в събирането на енергия за сензори, използвани от IoT (DeFeo, 2015). Технологията позволява преобразуването на енергия от околната среда в цифрови данни и се използва широко в интернет на неща като проследяване на максималната мощност и събиране на фотоволтаична енергия (Ahmad et al., 2021).
 5. **LoRaWAN:** Основното приложение на протокола LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) се намира в безжични устройства с широк спектър от операции, които работят на батерии (Queralta et al., 2019). Една от силните страни на този протокол е способността му да комуникира широко. Протоколът намира особено добро приложение в изграждането на интелигентни градове за мониторинг на качеството на въздуха и благодарение на комуникационните технологии (LoRaWAN) може да се използва в големи географски райони (Simo et al., 2021).
 6. **Z-Wave:** Z-Wave е нискоенергиен и радиочестотен комуникационен протокол, който осигурява надеждна комуникация за малки пакети данни, разработени от Zensys през 1999 г. (Tournier et al., 2020). Протоколът работи с честота от порядъка на 900 MHz, която варира в различните страни, а обхватът му е в диапазон (30-100) m, така че се предполага, че взаимодействието му с други комуникационни протоколи като WiFi е незначително. Използва се при изграждането на решения за интелигентен дом (Kim et al., 2020).

7. **NFC:** Near Field Communication (NFC протокол) осигурява опростена комуникация, свързвайки две устройства, които са на по-малко от 4 см един от друг (Yugha & Chithra, 2020). Използва се за безконтактни плащания, достъп до цифрово съдържание и връзка с електронни устройства.
8. **6LoWPAN:** 6LoWPAN е първият общ комуникационен протокол за интернет на нещата (Low Power Wireless Personal Area Network IPv6). Протоколът използва IEEE802.15.4 за своята работа (Chalappuram et al., 2016). На тази основа тя може лесно да бъде свързана с други IP мрежи директно и без посредници.

Всички комуникационни протоколи, обсъждани в подкрепа на платформата Advanced Encryption Standard (AES) и, с изключение на NFC, могат да бъдат класифицирани като безжична лична мрежа (WPAN). NFC е peer-to-peer (P2P) мрежа.

1.1.2. Изследователски направления

- **Стандартизация**

Въпреки усилията на различните органи по стандартизация, все още няма единна рамка за концепцията за интернет на нещата. Независимо от това, приносят на тези организации за индустриалното приложение на технологията, бързото ѝ навлизане и цялостното развитие е безспорен. Представената по-горе рамка на архитектурата, която е част от основата на системата, може да се приеме като илюстрация.

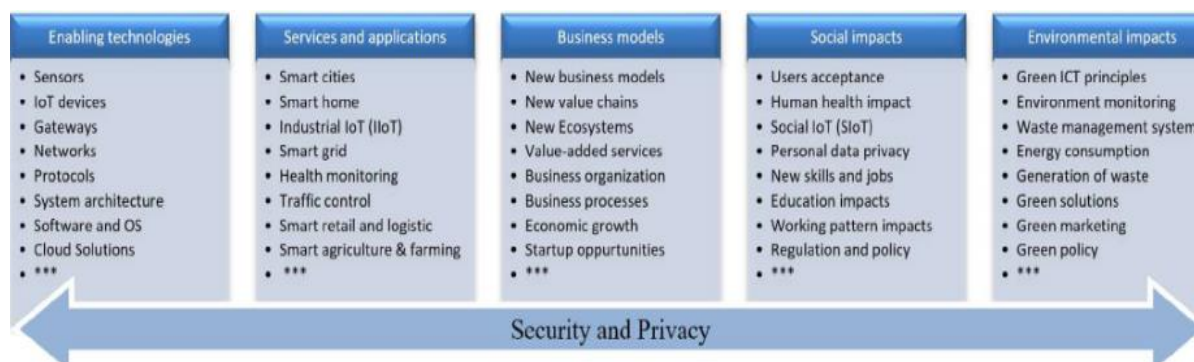
Създаването на единни стандарти за такива разнообразни технологични стандарти е истинско предизвикателство. Стандартизацията играе ключова роля в бъдещото развитие на интернет на нещата. Това може да засегне различни аспекти на системата. Например, това би могло да има пряко отношение към подобряването на оперативната съвместимост, но също и към отворените стандарти, които интернет използва за неща като сигурност, идентификация, комуникация. Смята се, че стандартизацията ще разшири отварянето на технологиите за нови търговци и потребители (Bandyopadhyay & Sen, 2011), (Atlam, Walters & Wills, 2018).

- **Сигурност и поверителност**

Това предизвикателство представлява ключова област на бъдещия анализ, тъй като чрез непрекъснатото предаване на данни между различни устройства и

потребители е в основата на функционирането на интернет на нещата. В този смисъл данните в нейните мрежи са изложени на постоянни рискове, атаки и заплахи. Поради ниската процесорна мощ и капацитет за съхранение, интелигентните неща са уязвими за атаки, тъй като съществуващите техники за сигурност или криптографията не са подходящи (Mohanta et al., 2021), (Dineva & Atanasova, 2019). Този проблем може да се разглежда от различни гледни точки. От една страна, тя е предпоставка за постигане на обществен консенсус за по-цялостно прилагане на интернет на нещата, а от друга, тя е свързана с множество технологични предизвикателства, които сами по себе си формират теми за анализ (Blagoev & Atanasova, 2022). Един пример за такова проучване се фокусира върху гарантирането на сигурността и поверителността на данните в интернет на нещата чрез използването на мобилни компютърни устройства (Liao et al., 2020).

Фигура 1.3 показва как анализаторите структурират основните категории анализ на сигурността и поверителността на данните, а именно: ключови технологии, услуги и приложения, бизнес приложения, социално и екологично въздействие (Colakovi & Hadžialic, 2018).



Фигура 1.3 Категоризация на анализа на сигурността и поверителността на данните

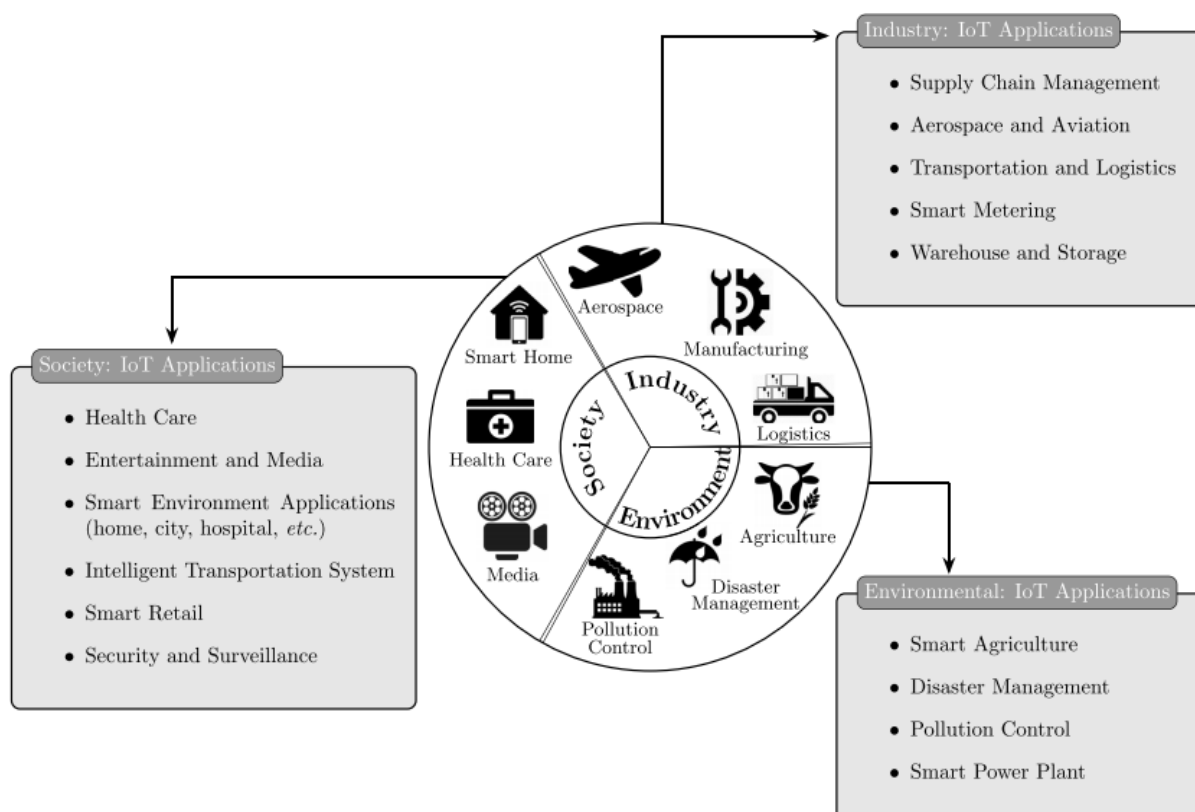
За да се изяснят сложните проблеми със сигурността и неприкосновеността на личния живот, някои автори предлагат да се използва 3-степенната защита на предварителната проучване, работата и последващата дейност (Yao et al., 2020). По този начин тази архитектура за сигурност, базирана на физически обекти, позволява подробен анализ на физически обекти на различни работни етапи.

1.1.3. Приложения на IoT

Приложенията на IoT обещават да донесат огромна стойност в живота благодарение на по-новите безжични мрежи, съвременните сензори и съвременните изчислителни възможности. Приложенията на IoT в различни индустрии и обществото като цяло са неограничени. Обща представа за най-популярните индустриални приложения на интернет на нещата е представена на Фиг. 1.4 (Pattar et al., 2018).

Диаграмата обхваща основно три основни категории – индустрия, общество, околна среда, които са внедрени в различни секторни приложения. Макар и схематична, тази презентация е достатъчно широка, за да илюстрира потенциала на интернет на нещата да подобри почти всяка област на социалния и индустриалния свят.

От особено значение през последните години е мястото на интернет на нещата в така наречената "Индустрия 4.0", която често се разглежда като нов етап от индустриалната революция (Santhosh, Srinivsan & Ragupathy, 2020).



Фигура 1.4. Някои от най-популярните индустриални приложения на IoT.

В този аспект литературата обикновено обсъжда приложението на Интернет на нещата в така наречените умни фабрики. Основната им предпоставка за работа е интегрирането на всички компоненти на съществуващата индустриална среда за по-добро управление на ресурсите чрез интелигентно управление на данните, базирано на информацията от сензори, софтуер и съответните модели за вземане на решения (Mustakerov & Borissova, 2013; Борисова и Мустакеров, 2013; Fernandex-Carames, T., Fraga-Lamas, 2018).

- **Здравеопазване**

Приносът на Интернет на нещата към здравеопазването е неоспорим. Могат да се разграничат три основни фази като клинични грижи, дистанционно наблюдение и осведоменост за контекста (Dhanvijay & Patil, 2019). Фазата, свързана със събирането на данни, позволява намаляване на рисковете от човешка грешка, като се използва методът за автоматично събиране на медицински данни. Това допринася за подобряване на качеството на диагностиката и намалява човешките грешки, отговорни за събирането или предаването на невярна информация. Системите за мониторинг със сензори имат за цел да събират и съхраняват разнообразни данни за по-нататъшен анализ (Gustafson et al., 2017). Контекстното осъзнаване дава възможност да се намери състоянието на пациента (Vahdat-Nejad et al., 2021).

- **Мониторинг на околната среда**

Приносът на интернет на нещата към мониторинга на околната среда може да бъде класифициран в отделна категория. Това се дължи най-вече на способността на технологията да внедрява сензори на голяма площ, която извлича огромни данни за различните източници на замърсяване на околната среда и качеството на различните му компоненти като земя, въздух, вода, биомаса и др. (Singh et al., 2021; Trevathan et al., 2021; Gorikumar et al., 2021). Данните от такива наблюдения могат да бъдат използвани от различни заинтересовани страни като собственици, мениджъри, експерти по политиката за улесняване на прогнозирането, планирането и вземането на решения.

- **Интелигентно земеделие**

Един от най-важните аспекти на прилагането на интернет на нещата в селското стопанство е в подпомагането на земеделските стопани да контролират параметрите

на околната среда при отглеждането на производството, както и да подобряват ефективността на производството (Moysiadis et al., 2021; Boursianis et al., 2020). Освен това технологията може да приложи различни аспекти на автоматизацията към цялата производствена и логистична верига и по този начин да улесни крайния потребител с информация за произхода и качеството на продукта (Huang et al., 2021; Carlos et al., 2020). Приложението на IoT в аграрно-промишлените и екологичните области допринася за контрола на напояването, мониторинга на въздуха, почвата и водата, включително мониторинг на растенията или културите, както и за осветяване и контрол на торовете и пестицидите (Talavera et al., 2017).

- **Свързана индустрия**

Това е една от областите, в които се наблюдава най-бързо индустриално развитие. Фокусът е върху свързаността на различните машини в предприятията, синхронизирането на тяхната комуникация, производителност, с възможности за контрол и управление за повишаване на ефективността и за справедливо етично развитие на бизнеса (Margherita & Braccini, 2021). От особено значение е възможността, предоставена от технологиите чрез обмен на информация и данни, така че машините да могат да вземат свои собствени решения за внедряване, автоматизиране на процеси и др. (Santhosh, Srinivsan, Ragupathy, 2020).

- **Автономни автомобили**

Когато автомобилите са оборудвани с WiFi, чрез който могат да комуникират с други автомобили, участващи в трафика, вероятността от човешка грешка, инциденти, стрес при шофиране и други подобни рискове са значително намалени. Представен е преглед на съществуващите приложения на FPGA за проектиране на системи за управление в автономни автомобили (Marinova, 2018). До 2040 г. 75% от автомобилите по пътищата се очаква да бъдат оборудвани с WiFi (Atlam, Walters & Wills, 2018).

- **Умни градове и умни домове**

Интернет на нещата се използва широко в изграждането на интелигентни градове с по-добри услуги за гражданите, по-ниски разходи и по-ефективно управление на публичните ресурси (Marques et al., 2019; Борисова и др., 2020). Области като управление на градския транспорт и други превозни средства са от съществено значение за големите населени места (Garvanov et al., 2021). Чрез интернет на нещата

гражданите имат както по-добър достъп до местни обществени услуги, така и по-добър достъп до информация за своите процеси на управление (Clement & Crutzen, 2021).

Възможността хората да улеснят използването на различни иновативни услуги в домовете си винаги се е радвала на добро развитие. Интернет на нещата дава допълнителен тласък на тези иновации, като осигурява както дистанционно управление на устройства, които не изискват присъствието на потребителя към домашния уред, така и интелигентно потребление на енергия, интеграция, безопасност и много други предимства (Hamernik, Tanuska, Mudroncik. 2012), (Choi, Kim, Lee, Park, 2021). Тази технология е особено важна за улесняване на начина на живот на възрастните хора, хората с увреждания и други уязвими групи (Debauche et al., 2019; Sokullu et al., 2020).

- **Интелигентни енергоспестяващи и интелигентни електроенергийни мрежи**

Първостепенното значение, което се отдава на този сектор както от правителствените, така и от международните програми за устойчиво развитие, стимулира изследванията на потенциалния принос на интернет на нещата. Поради сложността на въпроса се счита, че все още не е намерено нито едно окончателно решение (Shah et al., 2018). Независимо от това, новата технология допринася за няколко подобрения в енергоспестяването, главно чрез въвеждането на интелигентни устройства за управление на енергията (Guliashki, Marinova & Groumpos, 2019).

- **Носими устройства**

Основната цел на интелигентните носими устройства е да събират, предават и анализират данни и в някои случаи да вземат интелигентни решения. В зависимост от тяхното приложение, интелигентните носими устройства се класифицират в четири основни групи: здраве, спорт и ежедневна дейност, проследяване и локализация и безопасност (John Dian, Vahidnia & Rahmati, 2020). Интернет на нещата може да се използва и за интелигентни носими устройства за наблюдение на здравния статус на карантинирани пациенти с Covid-19 (Al Bassam et al., 2021). Освен че подобряват функционалността на съвременните аксесоари, които използваме в обучението, различни смарт устройства въвеждат иновации в подкрепа на независимия живот на определени уязвими групи. Един пример за това са интелигентните устройства, които

са предназначени да поддържат независимия живот на възрастните хора (Baig et al., 2018).

1.1.4. Предизвикателства

Както бе споменато по-горе, в допълнение към многобройните си предимства, интернет на нещата носи със себе си своите предизвикателства, най-важните от които сме очертали в раздела по-долу.

Големи данни

Способността на интернет на нещата да генерира големи количества данни е пряко свързана с предизвикателството на тяхната интеграция, съхранение и управление. Това е от съществено значение и е предмет на анализ на няколко фокусирани академични изследвания. Например, двойният ефект на интернет на нещата, описващ големите данни през призмата на категорията BOLD (Big, Open, Linked Data) е представен в (Brous, Janssen & Herder, 2020). Според авторите чрез тази концепция можем да проследим както ползите, така и предизвикателствата на големите данни. Едно от най-очевидните предимства на тези данни е тяхното по-добро качество в сравнение с данните, генерирани с традиционни средства, особено по отношение на точност, разнообразие, скорост на генериране и обем. Не е за подценяване възможността данните, генерирани от едно място, да се използват за различни цели. В същото време обаче управлението им е изправено пред непосредствените предизвикателства на инфраструктурния капацитет, самото управление, гарантирането на тяхната сигурност и конфиденциалност (Dineva & Atanasova, 2019), (Tsochev et al., 2019). Последните аспекти биха могли да скрият други непредвидени рискове, както и да доведат до високи разходи за организацията при въвеждането на технологията.

Предоставяне на мрежа

Работата в мрежа и системата "Интернет на нещата" сама по себе си е предизвикателство, точно както нейната мрежа обединява както интелигентни, така и традиционни мрежи. Разработването на мрежов протокол и мрежова типология създава свързани предизвикателства, които не са лесни задачи (Aboubakar et al., 2021).

Хетерогенност

Голямото разнообразие от устройства, операционни системи и услуги, както и постоянното разширяване на мрежите, които използват интернет на нещата, извеждат на преден план проблема с свързаността и координацията на различните устройства. Понякога тази хетерогенност може да повлияе на дизайна на архитектурата и други аспекти на системата (Atanasova, 2019), (Mesmoudi et al., 2020). Свързан проблем с хетерогенността е стандартизацията на нещата в интернет, което е голямо предизвикателство за бъдещото развитие на технологиите.

Оперативна съвместимост

Оперативната съвместимост се отнася до способността на устройствата да комуникират независимо от използвания хардуер и софтуер. Като се има предвид взаимосвързаността на различните компоненти и устройства в интернет на нещата, тяхната оперативна съвместимост е от решаващо значение (Guimaraes et al., 2020). Това е една от областите, които се развиват доста бързо поради нуждите на пазара. Независимо от това, оперативната съвместимост остава един от отворените проблеми, пред които е изправено развитието на мрежи, които използват интернет на нещата.

Мащабируемост

Мащабируемостта се отнася до способността на системата да добавя нови устройства и услуги, без да засяга използваните технологии. По този начин мащабируемостта, свързана с размера на IoT системите, се превръща в значителен проблем (Arellanes & Lau, 2020). Тук предизвикателствата са свързани с поддръжката на голям брой устройства с памет и други ресурси, пряко засягащи оперативната съвместимост и архитектурния дизайн.

Сигурност и поверителност

Гарантирането на сигурността и поверителността на данните понастоящем е голямо предизвикателство за широкото използване на интернет на нещата (Babun et al., 2021). Тези два проблема са пряко свързани с управлението на големи данни, но гаранцията им е неизбежна, за да може потребителят да се наслаждава на другите предимства на интернет на нещата.

Необходимостта от глобализирани закони за IoT, за да се гарантира, че общият потребител е наясно със заплахите за сигурността, етиката и неприкосновеността на личния живот, дължащи се на IoT технологията, се обсъжда в (Karale, 2021).

Поддръжка

Необходимостта от поддръжка на милиони устройства, които принадлежат към различни версии от различни производители, понякога може да бъде от решаващо значение. Това е особено вярно, ако системата включва по-стари устройства, които не се поддържат от търговеца на дребно, както и такива, които не са актуализирани до най-новите им операционни платформи.

Предизвикателствата, които носи подобна картина, оказват влияние не само върху работата на мрежата. На практика това се възприема като слабост на самата технология на интернет на нещата (Atlam, Walters & Wills, 2018).

1.1.5 Интелигентен дом

Приложенията на IoT могат да бъдат намерени в различни сектори на нашия живот. Един от тези сектори е сградата, където могат да се прилагат различни решения за интегриране на IoT на етапа на проектиране на сгради (Ruiz-Zafra et al., 2022). Основното предизвикателство днес е свързано с глобалното затопляне и много организации и изследователи участват в намаляването на този процес. Амбицията е преход към нулеви нетни въглеродни емисии със специфични трансформации, които трябва да бъдат изпълнени до 2030 и 2050 г. В тази връзка всеки опит за намаляване на най-лошите последици от разпадането на климата ще допринесе за по-бърза декарбонизация. Най-рентабилният начин за спасяване на нашата планета от такива най-лоши емисии е драстичните промени в общото глобално потребление на суровини и използването на ефективни начини за пречистване на отпадъчните води (Li et al., 2016). Ето защо си струва да се използва възобновяема енергия за нисковъглеродни сгради, което е в контекста на директивата за интелигентния град. Установено е, че възможностите за намаляване на енергията и намаляване на парниковите газове са свързани с използването на възобновяема енергия във всяка фаза на жизнения цикъл на сградата (Chang & Wei, 2021). Въглеродните емисии се отделят не само при строителството на сгради, но и по време на експлоатацията на сградите.

Нисковъглеродният дизайн на сградата взема предвид бъдещото им използване и сценариите за края на жизнения цикъл и има за цел да подобри тяхната поддръжка, ремонт, обновяване и адаптиране (Joensuu et al., 2022). От решаващо значение е да се намалят въглеродните емисии на строителната индустрия, тъй като тя е един от основните източници, генерирани на всички етапи от жизнения цикъл на сградата (Li, 2021). Представено е цялостно проучване на последните постижения в управлението на енергията, някои скорошни решения за управление на енергията за екосистемата на IoT и нови изследователски перспективи, които могат да бъдат използвани за икономия на енергия в IoT мрежите (Benhamaid et al., 2022).

Благодарение на напредъка в технологиите, свързани с ИТ, разнообразие от сензори и интернет свързаност, днес IoT се превърна в неразделна част от нашия живот. Концепцията за интелигентен град има за цел да интегрира различни свързани физически устройства, за да гарантира ефективността на градските операции и услуги, включително транспорта (Garvanov et al., 2021). Съществена част от интелигентния град е интелигентният дом. Интелигентният дом е част от парадигмата на IoT, която дава възможност за интегриране на различни домашни устройства, свързани чрез интернет, като по този начин позволява на потребителите да наблюдават и контролират дистанционно (Stolojescu-Crisan et al., 2021).

Има много предизвикателства и проблеми, които трябва да бъдат разгледани, за да се достигне пълният потенциал на IoT. Тези предизвикателства и проблеми са свързани както с технологичните, така и със социалните перспективи (Kumar et al., 2019). Анализирайки приложенията за интелигентен дом, се установява необходимостта от технологии за големи данни за обработка на големия обем данни, възникващи от различни сензорни устройства (Balakrishna & Thirumaran, 2020). За обработката и внедряването на приложения за интелигентен дом семантичните и оперативно съвместимите въпроси трябва да бъдат разгледани в цялостната архитектура. В тази връзка се предлага оптимизирана рамка към семантичната оперативна съвместимост в IoT домейните за интелигентен дом (Jacoby et al., 2017). Показано е, че мидълуер за самоуправление на хетерогенни IoT устройства, базирани на агентни технологии, може да се използва за осигуряване на оперативна съвместимост чрез използване на семантични технологии (Katasonov et al., 2008).

Сигурността е важна грижа за IoT мрежите, тъй като наличието на сигурна мрежа може да предотврати потенциалните рискове за подправяне на комуникационните данни чрез неразрешено въвеждане. Това ще доведе до сигурна IoT мрежа и ще гарантира сигурността на данните, обменяни от различните устройства, участващи в мрежата. Най-важната част от сигурността на IoT остава криптографията. Според публикуваното състояние на техниката, алгоритмите, използвани в IoT мрежите, могат да бъдат класифицирани в симетрична и асиметрична лека криптография за леки криптографски протоколи (Rana et al., 2022).

Един от основните потребители на IoT са обикновените хора (Rus et al., 2020) и следователно умните домове, поради което са направени забележителни подобрения и разработки в областта на интелигентните домове и IoT (Choi et al., 2021). Разновидностите на приложенията за интелигентен дом са илюстрирани на Фиг. 1.5.



Фигура 1.5. Приложения за интелигентен дом

Сигнално-охранителната система е свързана с видеонаблюдение, контрол на достъпа и видеодомофонни системи, сензори за пожар/наводнение/присъствие, автоматизирани врати и гаражни врати, пожароизвестителни системи. Умният дом

позволява контролиране на осветлението на всички видове осветителни тела и възможности за включване/изключване, затъмняване (контрол на яркостта на светлината), RGB контрол на цветовете. Отопление и охлаждане от подово отопление и термопомпи, топлоелектрически централи, конвектори, електрически печки, газови котли, климатици, мултисплит системи и рекуператори и др. Те могат да бъдат управлявани от умни домове. Друга особеност на интелигентния дом е свързана с контрола на щори и завеси, задвижвани от моторизирани корнизи, включително външни / вътрешни щори, завеси от всякакъв вид, двигатели за корнизи и щори, тенти и капаци за басейни. Аудио и видео на домашно кино, аудио системи, гласов контрол, радио система също могат да бъдат контролирани (Yang et al., 2018). Не на последно място са контролните устройства и измерването на енергията, включително контрол на всички домакински уреди и контакти, измерване на потреблението на електроенергия, вода и газ, метеорологична станция за измерване на вятър, време и влажност за пълна автономност на къщата (Rashevski, Nikolov, Danev 2019).

Системите за управление на енергията на интелигентните домове в IoT мрежите са от голямо значение (Aliero et al., 2021). Това се доказва от наличието на различни изследователски подходи като някои концепции, конфигурации и стратегии за планиране (Zhou et al., 2016), модел за самопланиране на системи за управление на енергията в дома, като се има предвид индексът на дискомфорт на крайните потребители (Javadi et al., 2021), система за контрол и автоматизация за интелигентна климатична система, ръководена от отчитане на заетостта на стаите (Abad et al., 2022 г.), енергийна ефективност на сгради в микромрежа (Guliashki & Marinova, 2020) и др. Ключовото измерение в контекста на домакинството е домашната автоматизация на интелигентните сгради и тяхната енергийна ефективност. Като се вземат предвид политиките за намаляване на парниковите газове, от съществено значение е да се предложи ефективен начин за управление на енергията, който да е в съответствие с тенденцията за декарбонизация.

1.2. Анализ на техники и средства, приложими при проектиране на системи, използващи IoT

Както всяка сравнително нова технология, Интернет на нещата предлага широко поле за академични и приложни изследвания. Въпреки че броят на академичните публикации в областта нарасна значително през последните години, темите, които биха могли да бъдат анализирани, са практически свързани с всеки аспект на темата.

1.2.1 Софтуер за управление на IoT хардуерните устройства

Последните постижения в областта на информационните и комуникационните технологии (ИКТ) дават възможност за внедряване на различни приложения, свързани с IoT, и обхващат широк спектър от лични устройства (Huifeng et al., 2020), логистика и транспорт (Chung, 2021), интелигентни градове (Ashraf, 2021), интелигентно земеделие (Idoje et al., 2021). и така нататък. Едно от най-популярните приложения се отнася до интелигентните домове (Choi et al., 2021). Ползите от него се отнасят до по-голяма енергийна ефективност, повишаване на комфорта, подобряване на сигурността, контролиране на дома чрез мобилни или настолни компютри, рентабилно за големи домове, автоматизиране на рутинни задачи (Lobaccaro et al., 2016). Благодарение на развитието на технологиите, свързани с IoT, вече е възможно да има така наречения умен дом. Това все още е развиваща се и развиваща се индустрия като IoT. Хардуерните устройства не са достатъчни, за да имате умен дом, но те са предпоставка да направите дома умен. За да се постигне интелигентен дом, е необходим и правилният софтуер за управление на хардуерните устройства. И тук възниква въпросът – кой софтуер е по-добър за използване, комерсиалният софтуер или софтуерът с отворен код?

Въпросът кой софтуер е по-добър за използване в домашната автоматизация – комерсиалният или софтуерът с отворен код – е относителен и зависи от индивидуалните нужди и предпочитания на потребителя. И двата типа софтуер имат своите предимства и недостатъци, които трябва да се вземат предвид при вземане на решение.

Комерсиалният софтуер обикновено е разработен от големи компании и предлага пълен пакет с функционалности, поддръжка и гаранция. Той може да бъде по-лесен за настройка и използване за неопитни потребители, тъй като предоставя

готови решения и лесен интерфейс. Освен това, комерсиалният софтуер обикновено има по-широка интеграция с различни устройства и екосистеми.

Някои от популярните комерсиални платформи за домашна автоматизация са показани в Таблица 1.1.

Таблица 1.1. Комерсиални платформи за домашна автоматизация

	Операционна система	Интеграция с устройства:	Гласови асистенти:	Други характеристики
Apple HomeKit	iOS, macOS	Специфични за HomeKit устройства	Siri	Лесна интеграция с Apple екосистемата; Високо ниво на сигурност и шифроване на данните
Google Assistant	Android, iOS	Широка гама от съвместими устройства от различни производители	Google Assistant	Силна интеграция с други Google услуги и платформи; Поддръжка на различни протоколи и стандарти
Amazon Alexa:	Android, iOS	Широка гама от съвместими устройства от различни производители	Alexa	Мощна екосистема с множество добавки и навици Лесна интеграция с други Amazon услуги и продукти
Samsung SmartThings	Android, iOS	Широка гама от съвместими устройства от различни производители	Google Assistant, Amazon Alexa	Поддръжка на Zigbee и Z-Wave протоколи Лесно използваем интерфейс и сценарии на автоматизация

От друга страна, софтуерът с отворен код е разработен от общност от програмисти и е достъпен за свободно използване, промяна и разпространение. Това дава възможност за гъвкавост и персонализация, тъй като потребителите могат да променят кода според своите нужди. Софтуерът с отворен код също така насърчава

сътрудничеството в общността и предоставя редица добавки и интеграции, които могат да разширят функционалността.

Изборът между комерсиалния софтуер и софтуера с отворен код трябва да се базира на следните фактори:

- **Функционалност:** Изследване и сравняване функционалността на двата типа софтуер, за увереност, че отговарят на специфичните нужди и изисквания.
- **Устройства и интеграция:** Разглеждане съвместимостта на софтуера с устройствата, които се интегрират в системата за домашна автоматизация. Проверка дали софтуерът поддържа нужните протоколи и стандарти.
- **Гъвкавост и персонализация:** Ако се желае голяма гъвкавост и възможност за персонализация на системата си, софтуерът с отворен код може да бъде по-подходящ за вас. Ако се търсят готови решения и лесна настройка, комерсиалният софтуер може да бъде предпочитан.
- **Бюджет:** Бюджетът също може да играе роля в решението. Комерсиалният софтуер обикновено изисква плащане за лицензи или абонаменти, докато софтуерът с отворен код е безплатен за използване. Въпреки това, при софтуера с отворен код трябва да се вземат предвид допълнителни разходи за хардуер и техническа поддръжка, ако е необходимо.

Това са само някои от факторите, които трябва да се вземат предвид при избора на софтуер за домашна автоматизация. Важно е да се проведе подробно изследване и да се направи сравнение, за да се намери най-подходящото решение.

1.2.2 Платформи за домашна автоматизация с отворен код

В последните години домашната автоматизация се е превърнала в мощна технология, която подобрява комфорта, удобството и енергийната ефективност на съвременните домове (Ricquebourg et al., 2007), (Li & Yu, 2011). Традиционните системи за домашна автоматизация често се базираха на закрит софтуер и хардуер, което ограничаваше достъпността и възможностите за персонализация. Обаче, с появата на системи за домашна автоматизация с отворен код, настъпва нова ера (Chikalanov, et al., 2019). Домашната автоматизация с отворен код дава възможност на собствениците на жилището да имат контрол върху жилищното си пространство, като предлага редица

предимства като гъвкавост, достъпност и сътрудничество с общността (Nikayin & De Reuver, 2013), (Peytchev et al., 2016).

Домашната автоматизация с отворен код се отнася до използването на софтуер, хардуер и протоколи с отворен код за създаване на интелигентни домове. За разлика от закритите системи, отворените системи позволяват на потребителите да имат свободен достъп, да променят и разпространяват изходния код безплатно. Тази отвореност насърчава сътрудничество сред разработчиците и позволява персонализация на системите за автоматизация, за да отговарят на индивидуалните нужди (Baker, 2017).

Платформите за домашна автоматизация с отворен код, като Home Assistant и OpenHAB, служат като основа за създаване на интелигентни домове. Тези платформи предлагат централизиран хъб, който интегрира и контролира различни устройства, включително осветление, термостати, системи за сигурност и забавления. Освен това, платформите с отворен код поддържат различни комуникационни протоколи, което гарантира съвместимост с множество устройства от различни производители.

- a) **Гъвкавост и персонализация:** Едно от ключовите предимства на домашната автоматизация с отворен код е гъвкавостта ѝ. Потребителите имат свобода да настроят системата според своите специфични изисквания. Те могат да избират от голяма библиотека с добавки и интеграции, за да разширят функционалността на автоматизацията си. Независимо дали става въпрос за интегриране на гласови асистенти, създаване на сложни рутини за автоматизация или включване на нови технологии, системите с отворен код предоставят инструментите и ресурсите, необходими за персонализация.
- b) **Достъпност:** Домашната автоматизация с отворен код предлага икономичен вариант спрямо закритите системи. С отворения софтуер потребителите могат да използват вече наличен хардуер или да изберат достъпни компоненти от полицаите. Освен това, отворените проекти често се актуализират и подобряват от общността, което елиминира необходимостта от скъпи сервизни договори или лицензи.
- c) **Сътрудничество с общността:** Отворените проекти за домашна автоматизация се развиват благодарение на сътрудничеството в общността. Активна общност

от разработчици, ентусиасти и потребители допринася за развитието и подобряването на платформите с отворен код. Това сътрудничество насърчава иновациите, споделянето на знания и осигурява непрекъснато развитие и поддръжка. Форуми за общността, документация и онлайн ресурси предлагат ценни насоки, помощ при отстраняване на проблеми и интеграции, предоставени от потребителите.

- d) **Поверителност и сигурност:** Домашната автоматизация с отворен код позволява на потребителите да контролират данните си и да запазят поверителността си. За разлика от закритите системи, които могат да събират и печелят от информацията на потребителите, системите с отворен код отдават приоритет на сигурността на данните на потребителя. Прозрачността на изходния код позволява на потребителите да открият и адресират възможни проблеми със сигурността, което осигурява по-високо ниво на доверие и контрол върху личната информация.

Домашната автоматизация с отворен код има практически приложения в различни аспекти на интелигентния начин на живот. Например, тя може да подобри енергийната ефективност, оптимизирайки системите за отопление, вентилация и климатизация (ОВК) въз основа на населеността и метеорологичните условия. Тя също така може да автоматизира контрола на осветлението, за да пестят енергия, като изключва светлините в неприсъствени зони.

Сигурността е още един важен аспект на интелигентните домове, а отворените системи позволяват на потребителите да интегрират камери за сигурност, сензори за движение и сензори за врати/прозорци, създавайки комплексна система за сигурност. Освен това, отворените системи за автоматизация могат да се интегрират с гласови асистенти, което позволява управление на домашните устройства чрез гласови команди за по-голямо удобство.

Домашната автоматизация с отворен код също така насърчава достъпността и инклузивността. Тя позволява на потребителите да персонализират интерфейсите си и да използват различни устройства и платформи за управление. Това прави технологията по-достъпна за различни потребители, включително хора с увреждания или специални нужди.

1.2.2.1 Системи за домашна автоматизация с отворен код

Съществуват няколко системи за домашна автоматизация с отворен код, които предлагат гъвкавост и възможности за персонализация. Ето някои от тях:

- **OpenHAB** е една от най-популярните системи за домашна автоматизация с отворен код. Тя също предлага платформа за интеграция на различни устройства и услуги, като осигурява общ интерфейс за контрол на цялата система. OpenHAB е гъвкава и поддържа много протоколи, като Zigbee, Z-Wave, MQTT (Abad et al., 2022) и други. Разполага с графичен интерфейс за конфигурация и управление на устройствата и автоматизациите.
- **Home Assistant** е друга популярна система за домашна автоматизация с отворен код. Тя предоставя платформа за интеграция на различни устройства и услуги в един централен хъб. Home Assistant поддържа широк спектър от протоколи и устройства, включително осветление, термостати, медиа плейъри, сигурностни системи и др. Има голяма общност от потребители и разработчици, което позволява на потребителите да споделят конфигурации и добавки.
- **Domoticz** е още една система за домашна автоматизация с отворен код. Тя е лесна за инсталиране и настройка, като поддържа множество протоколи и устройства. Domoticz има уеб базиран интерфейс, който позволява на потребителите да управляват своите устройства и да създават автоматизации.

Тези системи с отворен код предоставят гъвкавост и възможност за персонализация, позволявайки на потребителите да интегрират различни устройства и услуги според своите нужди и предпочитания. Освен това, те имат активни общности от потребители и разработчици, което позволява на потребителите да споделят информация и да получават поддръжка.

В Таблица 1.2 са представени някои особености на често използвани платформи за домашна автоматизация с отворен код.

Таблица 1.2 Платформи за домашна автоматизация с отворен код

Платформа	Основни характеристики	Гъвкавост и персонализация	Интеграция и съвместимост	Общност и поддръжка
Home Assistant	Широка поддръжка на устройства и протоколи	Голям брой добавки и интеграции	Интеграция с популярни умни устройства и услуги	Активна общност и форуми за поддръжка
OpenHAB	Гъвкав и разширяем софтуерен фреймуърк	Възможност за правене на сложни автоматизации	Широка съвместимост с устройства и протоколи	Активна общност и поддръжка
Domoticz	Лесна инсталация и настройка	Лесно създаване на правила и сценарии	Интеграция със стандартни протоколи като Z-Wave, Zigbee	Форуми и поддръжка от общността
Mozilla WebThings	Фокус върху личната поверителност и сигурност	Възможност за добавяне на свои модули	Интеграция с гласови асистенти и стандартни протоколи	Разработка и поддръжка от Mozilla Foundation
ioBroker	Поддръжка на широка гама от устройства и протоколи	Възможност за създаване на сложни системи	Интеграция с популярни устройства и услуги	Активна общност и форуми за поддръжка

Вземане на решения при избора на конкретни хардуерни устройства и съответни софтуерни платформи, използвани за тяхното управление, е нетривиална задача, изискваща приложение на методи на многокритериален анализ.

1.3. Вземане на решения по множество критерии (MCDM)

Съвременните ИКТ заедно с достиженията в областта на изследване на операциите, позволяват разработването на нови инструменти, които да подпомагат различните аспекти при вземането на интелигентните решения, съобразени с процеса на дигитализация.

Многокритериално вземане на решения (Multi-Criteria Decision-Making – MCDM) е подход, който се занимава със структуриране и решаване на проблеми, включващи множество критерии. То е предназначено да подпомага лицата, вземащи решения и

извършващи планиране, изправени пред сложни проблеми. Терминът "решаване" в този контекст може да съответства на избора на "най-добрата" алтернатива от набор от налични алтернативи или дори избор на малък набор от добри алтернативи. Концепцията за оптимално решение в MCDM често се заменя с набор от недоминирани решения.

Сложността на проблема произтича от наличието на повече от един критерий. Решаването на проблем с MCDM изисква включване на информация за предпочитанията, тъй като няма едно оптимално решение. Като такъв, вземащият решения често трябва да заменя определени критерии с други. Това може да се постигне с помощта на различни подходи и методи.

MCDM има своите корени в оперативните изследвания и е активна област на изследване от 70-те години на миналия век. MCDM се основава на знания от различни дисциплини, включително математика, икономика, компютърни технологии, софтуерно инженерство и информационни системи.

Стенли Ционтс (Zionts St. 1979) изиграва значителна роля в популяризирането на MCDM със статията си от 1979 г. "MCDM – Ако не римска цифра, то какво?", предназначена за предприемаческа аудитория. Тази статия обърна внимание на полезността на MCDM при структурирането и решаването на проблеми при вземането на решения и планирането, които включват множество противоречиви критерии.

Съвременната MCDM дисциплина започва в началото на 60-те години на миналия век и оттогава е видяла значителен напредък, включително различни подходи и методи, много от които са внедрени от специализиран софтуер за вземане на решения. Днес прилагането на MCDM обхваща широк спектър от дисциплини, от политиката и бизнеса до околната среда и енергетиката.

1.3.1 Ролята на MCDM при обработката на противоречиви критерии при вземането на решения

Методите за многокритериално вземане на решения (MCDM) играят решаваща роля при справянето с противоречиви критерии при вземането на решения. Противоречиви критерии възникват, когато различни критерии или цели не могат да бъдат оптимизирани едновременно и трябва да се направят компромиси. Ето как MCDM помага при управлението на конфликтни критерии:

- **Изрично разглеждане на критериите:** MCDM предоставя структурирана рамка за изрично дефиниране и разглеждане на множество критерии при вземането на решения. Чрез идентифициране и признаване на конфликтните критерии предварително, техниките на MCDM помагат на лицата, вземащи решения, да разберат компромисите и да вземат информирани решения.
- **Претегляне и приоритизиране:** Методите MCDM позволяват на лицата, вземащи решения, да присвоят тежести или приоритети на всеки критерий въз основа на тяхната относителна важност. Чрез задаване на по-големи тежести на по-критичните или предпочитани критерии, вземащите решения могат да отразяват своите предпочитания и приоритети, което помага за справяне с противоречиви цели.
- **Сравнителен анализ:** MCDM техниките позволяват сравнителен анализ на алтернативите въз основа на множество критерии. Чрез количествено определяне на ефективността на алтернативите спрямо всеки критерий, вземащите решения могат да идентифицират компромисите и степента, до която алтернативите отговарят на противоречиви критерии. Този сравнителен анализ помага при вземането на по-информирани решения, които постигат баланс между противоречивите цели.
- **Анализ на чувствителността:** MCDM позволява анализ на чувствителността, за да се оцени въздействието на промените в теглата на критериите или данните върху резултатите от решението. Лицата, вземащи решения, могат да оценят различни сценарии и да проучат как се променят класирането или предпочитанията за алтернативи, когато се коригира значението на противоречивите критерии. Този анализ помага да се разбере надеждността на решенията и чувствителността към промените в значимостта на критериите.
- **Оптималност на Парето:** Някои методи на MCDM, като тези, базирани на отношения на доминантност, се фокусират върху оптималността на Парето. Оптималността на Парето представлява ситуация, в която не е възможно да се подобри един критерий, без да се жертва друг. MCDM техниките помагат

да се идентифицират алтернативите, които постигат най-добрия баланс на компромис, като са оптимални за Парето или почти оптимални.

- **Визуализация на компромиси:** MCDM техниките често предоставят визуални представяния, като радарни диаграми или матрици за вземане на решения, за да изобразят компромисите между противоречиви критерии. Тези визуализации помагат на вземащите решения да визуализират взаимоотношенията и компромисите между критериите, като помагат за разбирането на присъщите конфликти и улесняват дискусиите и преговорите.
- • **Визуализация на компромиси:** MCDM предоставя подкрепа за вземане на решения, като представя на лицата, вземащи решения, класиране или резултати от различни алтернативи, подчертавайки компромисите между противоречивите критерии. Лицата, вземащи решения, могат да проучат компромисите и да направят информиран избор въз основа на своите предпочитания и разбиране за последствията.

Чрез разглеждане и управление на противоречиви критерии, техниките на MCDM позволяват на лицата, вземащи решения, да се ориентират в сложността на вземането на решения и да постигнат баланс между конкуриращите се цели. Те осигуряват систематичен подход за оценка на алтернативите, количествено определяне на ефективността, определяне на тежести и вземане на информирани решения, които оптимизират компромисите и се привеждат в съответствие с предпочитанията и приоритетите на заинтересованите страни.

1.3.2 Концепцията за недоминирани решения в MCDM

Концепцията за недоминирани решения е важна концепция при многокритериалното вземане на решения (MCDM) и оптимизацията. Недоминираните решения представляват набор от алтернативи, които не са доминирани от друга алтернатива по отношение на множество критерии. Ето още едно обяснение на концепцията:

В MCDM, когато се оценяват алтернативи въз основа на множество критерии, може да има ситуации, при които една алтернатива е по-добра от друга по поне един критерий, докато е по-ниска по друг критерий. Твърди се, че такива алтернативи са доминирани от по-висшата алтернатива. От друга страна, недоминираните решения са

тези, които не могат да бъдат подобрени по нито един критерий, без да се жертва изпълнението по друг критерий.

Наборът от недоминирани решения се нарича още граница на Парето, оптимален набор на Парето или набор на Парето. Терминът произлиза от концепцията на Вилфредо Парето за ефективността на Парето, която гласи, че даден резултат е ефективен, ако не е възможно да се подобри положението на поне един участник, без това да доведе до влошаване на положението на някой друг.

В MCDM намирането на недоминирани решения е важно, защото помага на вземащите решения да разберат компромисите между критериите и да идентифицират обхвата на алтернативите, които представляват най-добрите компромисни решения. Тези решения осигуряват цялостен поглед върху пространството за вземане на решения и позволяват на лицата, вземащи решения, да проучат различни възможности, като същевременно зачитат противоречивите цели.

Съществуват различни методи и алгоритми за намиране на недоминирани решения, като принципа на господство на Парето, подходи, базирани на доминиране, или еволюционни алгоритми като недоминирания генетичен алгоритъм за сортиране (NSGA-II) (Deb, et al., 2002). Тези методи итеративно сравняват алтернативите въз основа на критериите и определят техните отношения на господство, като в крайна сметка идентифицират набора от недоминирани решения.

След като се получи набор от недоминирани решения, вземащите решения могат да анализират и оценят тези решения допълнително въз основа на техните предпочитания, приоритети и допълнителни съображения, за да вземат окончателно решение. Недоминираните решения предоставят ценна информация за компромисите между противоречивите критерии и дават възможност на лицата, вземащи решения, да идентифицират най-подходящите алтернативи, които постигат баланс между множество цели.

В обобщение, недоминираните решения в MCDM представляват набор от алтернативи, които не са доминирани от друга алтернатива по отношение на множество критерии. Те представляват най-добрите компромисни решения и предоставят на лицата, вземащи решения, ценна информация, за да се ориентират в компромисите и да вземат информирани решения.

1.3.3 Техники на многокритериалния анализ при вземане на решения

Техники на многокритериалния анализ при вземане на решения предоставят рамка и инструменти, които помагат да се сравняват и оценяват различни алтернативи въз основа на няколко на брой критерия, които се оптимизират едновременно в дадено множество от допустими алтернативи. В общия случай не съществува алтернатива, която да е оптимална за всички критерии, но може да се състави множество от алтернативи.

Някои от най-известните техники на многокритериалния анализ са описани по-долу:

- *Методът на Аналитичен йерархичен процес.* Това е една от най-популярните и използвани техники за многокритериален анализ. Тя предоставя рамка за оценка на алтернативи, като използва структура от критерии, подкритерии и техни тегла на важност. Аналитичен йерархичен процес включва разбиване на проблема на отделни елементи, сравнение на два по два критерии и дефиниране на техните относителни важности. След това се използва матрица за сравнение, за да се изчисли обща оценка за всяка алтернатива.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1.1)$$
$$a_{ij} = 1, i=j$$
$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, i \neq j$$

Формулата (1.1) е матрицата с размерност (n x n), където n = брой критерии. Стойността на диагоналните елементи, е равна на 1 като $a_{ij} = 1$. Въз основа на АНР, възможно е предпочитание, което е реципрочно и това е изразено чрез $a_{ij} = 1/a_{ji}$ за $i \neq j$.

- *Метод на претеглената сума (Weighted Sum Model).* Това е прост и често използван метод, при който критериите се оценяват и претеглят според техния принос към общата цел. Всяка алтернатива се оценява въз основа на теглата и резултатите се сумират, за да се получи обща оценка за всяка алтернатива. Това позволява на потребителя да настройва значимостта на различните критерии, в зависимост от своите предпочитания. Общата значимост на алтернатива A_i (т.е. когато всички критерии едновременно се вземат под внимание), е A_i^{WSM}

$$A_i^{WSM} = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij}, \quad i=1,2,3 \dots m. \quad (1.2)$$

където w_j означава относителното тегло на значимостта на критерия C_j и a_{ij} е стойността на алтернативата A_i когато е оценена спрямо критерий C_j .

1.3.3.1 Вземане на решения при много атрибути

В общата тема на MCDM (Многокритериално вземане на решения) се използва MCDA (Многокритериален анализ на решения). MCDA се занимава с проблеми, които включват решение за една алтернатива с най-добра целева стойност, която се влияе от множество различни критерии (Belton & Stewart, 2002).

Един от подходите за вземане на решения с множество критерии, който се отнася до ситуацията на краен набор от алтернативи, оценени чрез набор от атрибути, водещи до избора на най-доброто решение се нарича Multiple Attribute Decision Making (MADM). MADM се използва и за обозначаване на същия набор от проблеми, посочени по-горе, но вместо това „Критерий“ се нарича като „Атрибут“.

Методът MADM указва как трябва да се обработва информацията за атрибутите, за да се стигне до избор. MADM методите изискват сравнения както между атрибути, както и включват подходящи изрични компромиси между тях. Множеството атрибути при всяка задача за MADM съставляват характеристики на алтернативите на решения, като често атрибутите се наричат и "критерии за вземане на решение". Прилагането на методите на MADM изисква атрибутите да бъдат претеглени с коефициенти, изразяващи значителността на отделните критерии.

При постановка на задачата за вземане на решение при много атрибути се използва матрицата за вземане на решения A ($n \times m$) (Rao, 2007), както е показано в Таблица 1.3, където m е брой на зададените алтернативите, n е брой на атрибутите (критериите), по които ще се оценява всяка от алтернативите, w_n са теглови коефициенти, изразяващи относителната важност между критериите, а a_{mn} представлява оценката за m -тата алтернатива спрямо n -тия критерий.

Таблица 1.3 Матрица за вземане на решения

Алтернативи	Критерии /Атрибути				
	$C_1 (w_1)$		$C_2 (w_2)$	$C_n (w_n)$
A_1	a_{11}		a_{12}		a_{1n}
A_2	a_{21}		a_{22}		a_{2n}
A_3	a_{31}		a_{32}		a_{3n}
....
A_m	a_{m1}		a_{m2}		a_{mn}

1.3.3.2 Теория на многоатрибутната полезност

В теорията на вземане на решенията функцията на полезност с множество атрибути се използва за представяне на предпочитанията спрямо определено множество или при условия на сигурност/несигурност относно резултатите от всеки потенциален избор. Теория на многоатрибутната полезност (MAUT) е най-често използваният подход при многокритериалното вземане на решения. MAUT може да се разглежда като разширение на Multi-Attribute Value Theory (MAVT), позволяваща да се комбинират множество цели чрез обединяването на различни критерии (атрибути) във функция, която се максимизира (Shukla et al., 2017). Трябва да се отбележи и факта, че теорията на многоатрибутната полезност позволява да бъдат компенсирани отделните критерии, т.е. печалбата от един критерий може да компенсира загубата при друг (Keeney & Raiffa, 1993).

Сравнението между АНР и MAUT е показано в Таблица 1.4.

Таблица 1.4 Сравнение между АНР и МАУТ

МАУТ	АНР
Позволява по-голям брой независими критерии	Позволява по-малък брой независими критерии, в противен случай поражда неточност в преценката
Позволява повече алтернативи, които се изразяват в еднакви измерения	Позволява по-малък брой алтернативи, които се изразяват в различни измерения.
По-малко чувствителен	По-чувствителен
Рисковете и несигурността се вземат предвид.	Рисковете и несигурността не се вземат предвид
Вероятностите се считат за тегла на критерии за вземане на решения	Теглата на критериите се извличат от сравнение по двойки, използвайки метод на собствени стойности.
Подходът на размита логика се използва за приоритизиране на алтернативи	Методът на собствената стойност се използва за приоритизиране на алтернативи
WSM (Weighted Sum Model) се използва за изчисляване на глобалния приоритет	WSM (Weighted Sum Model) се използва за изчисляване на глобалния приоритет
Крайният резултат се базира на количествено определяне на данните и експертиза на лицето, вземащо решение	Крайният резултат се основава на експертиза на лицето, вземащо решение
Методът изцяло се основава на нормативния подход. т.е. как да се оцени даден артикул.	Този метод се основава изцяло на описателен и субективен подход. т.е. въз основа на концепция, извлечена от индивид, неговия минал опит и неговото предвиждане (предубедена преценка)

1.3.3.3 SMART (Simple Multi Attribute Rating Technique)

Методът SMART е техника за вземане на решения с множество атрибути, която се използва за подпомагане на вземането на решения от няколко алтернативни избора. Всяка алтернатива се състои от набор от атрибути или критерии, които имат определени стойности. Всеки атрибут има тежест, която описва колко е важен той в сравнение с други атрибути. Поради своята простота и начина, по който анализира отговорите, SMART се използва широко от вземащите решения. Прозрачността на анализа, включена в този метод, осигурява високо ниво на разбиране на проблема и е

приемливо за вземащите решения. Линейният модел на полезна функция (1.3) (Idmayanti et al., 2021), използван от SMART, е:

$$SMART = \sum_{j=1}^K n * w_j * u_{ij} \quad (1.3)$$

Където: w_j е претеглената стойност на j критерий; u_{ij} е стойността на полезност на алтернатива i по критерия j ; K е броят на критериите.

За изчисляване на нормализираното тегло се използва следната формула:

$$n * w_j = \frac{w_j}{\sum_{n=1}^K w_j} \quad (1.4)$$

Където: $n * w_j$ е нормализацията на теглото на j критерий; w_j е стойността на теглото на j критерий; K е брой на критериите; n е тежест на n критерий

1.3.3.4 SAW (Simple Additive Weighting)

Методът Simple Additive Weighting (SAW) е един от най-старите и най-широко използваните методи за вземане на решения. Той представлява процес, който може да се използва в различни предметни области като инженерство, науки за околната среда и енергетика. (Taherdoost, 2023).

Моделът на SAW използва концепцията за адитивност при определяне на ранговете на алтернативите. SAW може да се разглежда като класическа версия на метода на стойността с множество атрибути. Оценката на стойността се установява въз основа на просто добавяне на резултати, които представляват постигането на целта по всеки критерий, умножено по конкретните тегла (Ray & Triantaphyllou, 1999). Изчислява се претеглената сума на оценките за ефективност за всяка алтернатива по всички атрибути/критерии. Вземащите решения трябва да вземат предвид тежестта на атрибутите в този процес. Методът използва идеята за интегриране на стойностите на критериите и теглата в една единствена стойност и се основава на максимизиране на критериите за оценка:

$$A^* = \max \sum_{j=1}^N w_j e_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (1.5)$$

$$\sum_{j=1}^N w_j = 1, \quad (1.6)$$

където m е броя на алтернативите, N е броя на критериите, w_j е относителното тегло на важността на критерия C_j , e_{ij} е стойността на оценката за i -тата алтернативата спрямо j -ия критерий.

1.3.3.5 WPM (Weighted Product Model).

WPM метод за вземане на многокритериални решения е подобен на модела на претеглената сума. Основната разлика е, че вместо събиране в основната математическа операция има умножение:

$$A^* = \max \prod_{j=1}^n e_{ij}^{w_j}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.7)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1, \quad (1.8)$$

където m е броя на алтернативите, n е броя на критериите, w_j е относителното тегло на значимостта на критерия C_j , e_{ij} е стойността на оценката за i -тата алтернативата спрямо j -ия критерий.

Изборът на подходяща техника на многокритериалния анализ зависи от контекста на проблема, наличните данни и предпочитанията на потребителя. Важно е да се избере техника, която е най-подходяща за конкретните нужди и да се проведе систематичен и обективен анализ на алтернативите, преди вземането на решение.

1.4. Изводи

Представеният преглед на текущите изследвания в областта на IoT систематизира някои ключови аспекти, включително теми като стандартизация, системна архитектура, оперативна съвместимост и интеграция, надеждност, съхранение и обработка на данни, мащабируемост, управление и самоконфигуриране, производителност, идентификация и идентичност, енергия и потребление, сигурност и защита на личните данни, екологични проблеми.

Интернет на нещата се използва в почти всички области на обществения и индустриалния живот. Особено значение се отдава на мониторинга на околната среда. В промишлеността приложението му често се свързва със създаването на качествено нов тип управление на системите, в които се прилага, поради възможността за управление на големи и различни видове данни. Именно управлението на тези данни и техните характеристики са част от предизвикателствата пред бъдещото развитие на технологиите.

IoT се очертава с няколко характеристики, които влияят на неговите посоки за бъдещо развитие. Прегледът показва, че предизвикателствата пред IoT са свързани основно със стандартизацията на технологиите, както и с необходимостта да се

гарантира сигурността и поверителността на данните, които се генерират и обменят. Темите на изследванията на IoT обхващат практически всичките му аспекти, но могат да се разграничат няколко важни области, свързани с естеството на IoT, а именно събиране на данни, предаване на данни, обработка на данни и споделяне на данни.

Домашната автоматизация с отворен код променя начина, по който се взаимодейства с жилищното пространство и насърчава интелигентния начин на живот. Предоставяйки гъвкавост, достъпност и сътрудничество с общността, системите с отворен код предоставят потребителите със средствата и възможностите за персонализация на интелигентните им домове. По мярка като технологията се развива, домашната автоматизация с отворен код ще играе важна роля в създаването на свързана екосистема от устройства и услуги, допринасяйки за иновации и развитие на интелигентния начин на живот.

В резултат на направения обзорен анализ на технологични решения, математически методи и софтуерни средства, приложими в областта на проектиране на интелигентни домове с използване на IoT и платформи за домашната автоматизация с отворен код, могат да се направят следните изводи:

1. ключовите предимства на IoT са в автоматизирането на различни процеси в домовете, както и в събиране и анализиране на големи количества данни;
2. необходимо е да се отчитат предизвикателства, свързани с интелигентните домове по отношение на цената за инсталиране и поддръжка, съвместимостта, и поверителността и сигурността.
3. трябва да се вземат предвид определени фактори при избора на софтуер за домашна автоматизация, важен е систематичен и обективен анализ на алтернативите при вземането на решения. MCDM техниките позволяват информирано вземане на решения, приоритизиране на алтернативите и оптимизиране на различни аспекти в контекста на интелигентните домове.

1.5. Цел и задачи

От направения анализ на съществуващите технологии, софтуерни подходи и предизвикателства при проектиране на интелигентния дом, се формулира и следната цел на дисертационният труд: **да се предложи проект за изграждане на умен дом като се използва софтуерна платформа с отворен код.** За реализирането на тази цел е необходимо да се изпълнят следните задачи:

- 1) да се направи анализ на предизвикателствата в областта на IoT и техниките, приложими при проектиране на системи, използващи IoT,
- 2) да се предложи многокритериален модел за вземане на решения за избор на платформа с отворен код за проектиране на умен дом;
- 3) да се предложи модел за определяне на компетентности на специалисти по IoT за проектирането и реализирането на умен дом;
- 4) да се предложи подход за изграждане на интелигентна домашна среда с използване на софтуерни системи с отворен код.
- 5) да се проведат числените експерименти за валидиране на предложените модели и подходи.

Съдържанието на тази глава е отразено в 2 публикации:

1. Danev, V., Kirilov, L., Nikolov, R. Creating Smart Home Environment Based on Open Source Home Automation Software. CompSysTech'21: International Conference on Computer Systems and Technologies,'21, June 2021, pp. 81-86, <https://doi.org/10.1145/3472410.3472444> (**Scopus**)
2. Danev, V.: The Internet of Things: Description, Applications, Development, Challenges. Problem of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 76, pp. 3-24, 2021, ISSN:2738-7356, <https://doi.org/10.7546/PECR.76.21.01>

ГЛАВА 2.

МОДЕЛИРАНЕ И ПРОЕКТИРАНЕ НА УМНИ КЪЩИ ЧРЕЗ ПОДХОД ЗА ВЗЕМАНЕ НА РЕШЕНИЯ ПО МНОЖЕСТВО КРИТЕРИИ

В тази глава са описани предложените модели за вземане на решения за избор на алтернативи при проектиране на интелигентната автоматизация с използване на софтуерни платформи с отворен код, както и за оценка на компетентности на членове от екипа за прилагане на технологии, свързани с IoT.

2.1 Многокритериален подход при проектиране на интелигентен дом

Проектирането и внедряването на интелигентни домове е сложна задача, която изисква комплексни процеси на вземане на решения. Тези решения могат да обхващат широк спектър от фактори, като енергийна ефективност, рентабилност, автоматизация, комфорт, сигурност и естетика. Сложността на тези решения се умножава, когато се разглежда множеството налични технологии и възможности за дизайн. Това е мястото на концепцията за вземане на решения по множество критерии – Multiple-Criteria Decision-Making (MCDM). Този метод се използва в различни приложения в бизнеса, икономика, управление и медицина, където решенията често включват компромиси между различни критерии. Например, при закупуването на автомобил фактори като цена, комфорт, безопасност и икономия на гориво може да са от значение, но тези критерии често са в конфликт помежду си (например, най-евтината кола може да не е най-удобната или най-безопасната). Рядко се случва най-евтината кола да е и най-удобната и най-безопасната. Подобни компромиси се случват в управлението на портфейли, където мениджърите се стремят да постигнат висока възвръщаемост, като същевременно намаляват рисковете. В сектора на услугите балансирането на удовлетвореността на клиентите и разходите за предоставяне на услугата са противоречиви критерии. Като съвременна дисциплина, позволяваща оценяване на множество противоречиви критерии при вземането на решения, MCDM е полезен инструмент при проектирането на интелигентни домове.

MCDM включва структуриране на сложни проблеми и изрично разглеждане на множество критерии, което може да доведе до по-информирани и по-добри решения. В MCDM концепцията за оптимално решение често се заменя с набор от недоминирани решения. Едно решение се нарича недоминирано, ако не е възможно да се подобри в който и да е критерий, без да се жертва в друг. Този подход признава, че често няма уникално оптимално решение на проблем, което може да бъде получено, без да се включи информация за предпочитанията.

Разработени са различни методи за решаване на MCDM проблеми, включително векторно максимизиране, програмиране на цели, теория на полезността с множество атрибути и процес на аналитична йерархия. Тези методи често се прилагат от специализиран софтуер за вземане на решения.

2.1.1 Значение на многокритериалното вземане на решения при проектиране на интелигентни домове

Когато се прилага при проектирането на интелигентни домове, MCDM може да бъде решаващ инструмент за разглеждане на различни аспекти на процеса на проектиране. Например, MCDM може да помогне за балансиране на необходимостта от енергийна ефективност с желаното ниво на комфорт и удобство. Това би могло също така да помогне да се определи оптималната комбинация от технологии, които да се използват, като се имат предвид бюджетните ограничения, очакваните разходи за жизнения цикъл и потенциалните икономии на енергия.

Освен това, MCDM може да се използва за анализ на различни сценарии и алтернативи за проектиране, като се вземат предвид както количествените фактори (като цена и енергийна ефективност), така и качествените фактори (като комфорт и естетически предпочитания). Тя може да помогне да се определят компромисите между противоречащите си цели и да насочи лицата, вземащи решения, към най-задоволителното решение.

2.1.2 Техники за многокритериално вземане на решения и тяхното приложение в интелигентните домове

Поради съществуващото разнообразие от платформи с отворен код за управление на IoT е необходимо да се извлекат важни параметри, за да се направи правилно

класиране и избор. За класиране на ограничени алтернативи могат да се използват някои от добре познатите модели за вземане на решения с много атрибути (MADM). Скорошен преглед на многокритериални модели за вземане на решения и софтуерни системи е представен в (Borissova 2021). Има няколко техники за вземане на решения с множество критерии (MCDM), които могат да бъдат приложени в контекста на интелигентните домове. Всяка техника има свой собствен подход и математически модел за оценка на алтернативите въз основа на множество критерии. Ето някои често използвани MCDM техники и тяхното приложение в интелигентните домове:

- **Аналитичен йерархичен процес (АНП):** АНП е широко използвана техника на MCDM, която структурира йерархично проблемите при вземането на решения и позволява сравнения по двойки на критерии и алтернативи (Asadabadi et al., 2019). В интелигентните домове АНП може да се прилага за оценка и приоритизиране на различни стратегии за управление на енергията, опции за избор на устройства или системи за сигурност въз основа на критерии като енергийна ефективност, разходи, предпочитания на потребителите и въздействие върху околната среда.
- **Техника за ред на предпочитание чрез сходство с идеалното решение (TOPSIS):** TOPSIS е метод, който изчислява сходството на алтернативите на идеалните и отрицателните идеални решения (Baky, 2014). Interactive TOPSIS algorithms for solving multi-level non-linear multi-objective decision-making problems. Applied Mathematical Modelling, 38, 1417–1433.10.1016/j.apm.2013.08.016. В интелигентните домове TOPSIS може да се използва за класиране на опциите за управление на енергията, избора на устройства или механизмите за сигурност въз основа на критерии като енергийна ефективност, цена, удовлетвореност на потребителите и съвместимост. Алтернативата с най-голямо подобие с идеалното решение се счита за най-благоприятна.
- **Weighted product model (WPM):** WPM е проста и ясна MCDM техника, която изчислява общата оценка за желателност за всяка алтернатива, като умножава рейтингите за ефективност на критериите със съответните им тегла. В интелигентните домове WPM може да се прилага за избор на устройства или стратегии за управление на енергията въз основа на критерии като енергийна ефективност, разходи, потребителски предпочитания и съвместимост.

- **Метод на организацията за класиране на предпочитанията за оценка на увеличаването (PROMETHEE):** PROMETHEE е метод, който сравнява алтернативите въз основа на сравнения по двойки на критериите. Той изчислява индексите на предпочитанията и генерира класация на алтернативите. В интелигентните домове PROMETHEE може да се използва за класиране на опциите за управление на енергията, стратегиите за автоматизация или системите за сигурност въз основа на критерии като енергийна ефективност, разходи, предпочитания на потребителите и въздействие върху околната среда (Brans et al. 1984).
- **Simple Additive Weighting (SAW):** SAW е проста MCDM техника, която изчислява претеглена сума от оценките за ефективност на алтернативите въз основа на критерии (Thakkar, J. 2021). В интелигентните домове SAW може да се използва за класиране и избор на устройства, опции за управление на енергията или системи за сигурност въз основа на критерии като енергийна ефективност, разходи, удовлетвореност на потребителите и съвместимост.
- **ELECTRE (Elimination Et Choice Translating Reality):** ELECTRE е семейство от MCDM методи, които използват изпреварващи отношения за сравняване на алтернативи (Beccali, et al., 2003), (Corrente et al., 2013). В интелигентните домове ELECTRE може да се използва за класиране и избор на опции за управление на енергията, избор на устройства или системи за сигурност въз основа на критерии като енергийна ефективност, разходи, предпочитания на потребителите и въздействие върху околната среда.
- **Сив релационен анализ (GRA):** GRA е техника, която оценява връзката между алтернативите и критериите, като разглежда теорията на сивата система (Liu, S. et al, 2022). В интелигентните домове GRA може да се прилага за оценка и класиране на стратегии за управление на енергията, избор на устройства или системи за сигурност въз основа на критерии като енергийна ефективност, разходи, потребителски предпочитания и съвместимост.

По-долу са изброени допълнителни MCDM методи, които потенциално могат да бъдат приложени в интелигентните домове, в зависимост от проблема за решаването, критериите и наличните данни. Всеки метод носи своите силни страни и съображения,

което позволява по-всеобхватен и персонализиран подход към вземането на решения в контекста на интелигентните домове.

- **Техника за ред на предпочитание чрез сходство с идеалното решение с подход за нормализиране (TOPSIS-N):** Този вариант на TOPSIS включва стъпка за нормализиране, за да се справят с критерии с различни скали за измерване. В интелигентните домове TOPSIS-N може да бъде полезен при оценката на алтернативи с критерии като енергийна ефективност, разходи, удовлетвореност на потребителите и въздействие върху околната среда, които имат различни единици или измервателни скали.
- **Комплексна пропорционална оценка (COPRAS):** COPRAS е метод на MCDM, който позволява на лицата, вземащи решения, да вземат предвид както положителните, така и отрицателните предпочитания за критериите (Alinezhad, A., Khalili, J. 2019). В интелигентните домове COPRAS може да се прилага при оценка на стратегии за управление на енергията, избор на устройства или системи за сигурност, където определени критерии имат положително предпочитание (максимизиране), а други имат отрицателно предпочитание (минимизиране).
- **По-добро оптимизиране на критериите и компромисно решение (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje - VIKOR):** VIKOR е метод, който се стреми да идентифицира компромисно решение, което свежда до минимум максималното отклонение от идеалното решение. В интелигентните домове VIKOR може да се използва за избор на опции за управление на енергията или избор на устройства, като се вземат предвид критерии като енергийна ефективност, разходи, предпочитания на потребителите и въздействие върху околната среда, като се стреми да намери решение, което осигурява балансиран компромис (Mardani, et al., 2016).
- **Стабилна ординална регресия (Robust Ordinal Regression - ROR):** ROR е техника, която се справя с несигурността и променливостта при вземането на решения (Kadziński, M. 2022). В интелигентните домове ROR може да бъде полезен при работа с несигурни или неточни данни, като например при прогнозиране на

потреблението на енергия или оценка на ефективността на стратегиите за управление на енергията при несигурни условия.

- **Сива релационна проекция (GRP):** GRP е метод, който анализира връзките между алтернативите и критериите, като ги проектира върху сива релационна равнина (Zheng et al. (2010)). В интелигентните домове GRP може да се използва за оценка и класиране на стратегии за управление на енергията, избор на устройства или системи за сигурност въз основа на критерии като енергийна ефективност, разходи, предпочитания на потребителите и въздействие върху околната среда, като се има предвид теорията за сивата система.
- **Dominance-Based Rough Set Approach (DRSA):** DRSA е MCDM метод, който обработва неточна и непълна информация. Той използва теория на множествата, за да оцени алтернативите и да определи тяхното господство по отношение на критериите. В интелигентните домове DRSA може да се прилага за класиране и избор на опции за управление на енергията, избор на устройства или системи за сигурност, когато се занимават с непълни или несигурни данни (Liu, Y. et al. 2020).

Това са MCDM техники, които могат да бъдат приложени в интелигентните домове. Изборът на техника зависи от конкретния проблем за решаването, критериите и предпочитанията на собствениците на жилища (Wątróbski et al. 2019).

2.1.3 Използване на MCDM при вземането на решения при проектиране на интелигентен дом

Техниките за вземане на решения с множество критерии (MCDM) могат да бъдат използвани в контекста на вземането на решения за интелигентен дом, за да се справят ефективно със сложни и разнообразни сценарии за вземане на решения. MCDM методите позволяват на интелигентните домашни системи да разглеждат множество критерии или цели едновременно и да вземат информирани решения въз основа на различни фактори. Ето няколко начина, по които MCDM може да се използва при вземането на решения за интелигентен дом:

- **Управление на енергията:** Интелигентните домове често имат за цел да оптимизират потреблението на енергия, като същевременно осигуряват комфорт и ефективност на разходите. MCDM техниките могат да се използват за

оценка и приоритизиране на различни стратегии за управление на енергията въз основа на критерии като енергийна ефективност, разходи, въздействие върху околната среда и предпочитания на потребителите. Например, процесът на аналитичната йерархия (АНР) може да се приложи за определяне на най-подходящия модел на използване на енергиен източник или уред въз основа на множество критерии.

- **Сигурност и поверителност:** Интелигентните домове изискват стабилни мерки за сигурност и поверителност, за да защитят личната информация и собствеността на жителите. MCDM може да помогне при оценката и избора на системи за сигурност или механизми за поверителност въз основа на критерии като ефективност, лекота на използване, цена и съвместимост с други интелигентни устройства. Техники като Техника за ред на предпочитание чрез сходство с идеалното решение (TOPSIS) могат да помогнат за класирането на различни опции за сигурност или поверителност.
- **Избор на устройства:** С разпространението на интелигентни устройства в домовете, MCDM може да помогне при избора на най-подходящите устройства въз основа на различни критерии като функционалност, съвместимост, енергийна ефективност, цена и предпочитания на потребителите. Чрез използването на MCDM техники като метода за оценка на увеличаването на предпочитанията на организацията за класиране на предпочитанията (PROMETHEE), интелигентните домове могат да идентифицират най-добрите устройства, които съответстват на нуждите и ограниченията на собствениците на жилища.
- **Автоматизация и контрол:** MCDM може да подпомогне процесите на вземане на решения, свързани с автоматизацията и контрола на интелигентните домашни системи. Тя може да помогне да се определи оптималната стратегия за контрол на различни устройства или подсистеми, като се вземат предвид критерии като комфорт, енергийна ефективност, предпочитания на потребителите и ценообразуване за времето на използване. Методи като Simple Additive Weighting (SAW) могат да бъдат използвани за изчисляване на общата

желателност на различни стратегии за контрол и улесняване на вземането на решения.

- **Разпределение на ресурсите:** Интелигентните домове може да имат ограничени ресурси, като налична честотна лента, изчислителна мощност или капацитет за съхранение. MCDM техниките могат да помогнат за ефективното разпределяне на тези ресурси между различни устройства или услуги в дома. Чрез използването на методи като модела на претегления продукт (WPM) или техниката за предпочитание на поръчката чрез сходство с идеалното решение с подход за нормализиране (TOPSIS-N), интелигентните домове могат да приоритизират разпределението на ресурсите въз основа на множество критерии, като например важност на устройството, изисквания за ресурси и изисквания на потребителите.

В обобщение, MCDM техниките могат да подобрят възможностите за вземане на решения на интелигентните домове, като разглеждат множество критерии едновременно. Използвайки тези методи, интелигентните домове могат да направят оптимален избор по отношение на управлението на енергията, сигурността и неприкосновеността на личния живот, избора на устройства, автоматизацията и контрола и разпределението на ресурсите, което води до подобрена ефективност, удобство и удовлетвореност на потребителите.

2.1.4 Сценарии за интелигентен дом

Нека разгледаме конкретен сценарий за интелигентен дом, за да илюстрираме използването на MCDM техники при вземането на решения.

2.1.4.1 Сценарий: Управление на енергията в интелигентен дом

В този сценарий системата за интелигентен дом има за цел да оптимизира потреблението на енергия, като същевременно поддържа комфортна среда за живот на жителите. Системата има различни устройства като интелигентни термостати, интелигентно осветление и интелигентни уреди, всички свързани помежду си и контролируеми чрез централен хъб. Целта е да се вземат решения за управление на енергията въз основа на множество критерии, включително енергийна ефективност, разходи, въздействие върху околната среда и предпочитания на потребителите.

За да постигне това, системата за интелигентен дом може да използва MCDM техники, за да оцени различни стратегии за управление на енергията и да избере най-подходящата. Ето стъпка по стъпка разбивка на процеса на вземане на решения:

- **Идентифициране на вариантите за вземане на решения:** Системата идентифицира набор от стратегии за управление на енергията или варианти, които трябва да бъдат оценени. Например, тези опции могат да включват регулиране на температурните настройки, оптимизиране на моделите на използване на уредите или интегриране на възобновяеми енергийни източници.
- **Дефиниране на критерии:** Системата определя съответните критерии, които да се вземат предвид в процеса на вземане на решения. В случай на управление на енергията критериите могат да включват енергийна ефективност (измерена в kWh), разходи (по отношение на сметките за електроенергия), въздействие върху околната среда (въглероден отпечатък) и предпочитания на потребителите (ниво на комфорт, предпочитан температурен диапазон и т.н.).
- **Задаване на теглови коефициенти:** Системата задава тегла на всеки критерий, за да отрази относителната им важност. Тези тегла могат да бъдат определени чрез дискусии със собствениците на жилища или въз основа на общи предпочитания. Например, енергийната ефективност може да получи по-голяма тежест от разходите, ако собствениците на жилища дават приоритет на устойчивостта.
- **Събиране на данни:** Системата за интелигентен дом събира съответните данни, за да определи количествено ефективността на всяка опция за управление на енергията по отношение на определените критерии. Това може да включва наблюдение на потреблението на енергия, анализиране на исторически данни или използване на сензори в реално време за измерване на температурата, осветлението и използването на уредите.
- **Оценка и класиране:** Събраните данни се използват за оценка и класиране на възможностите за управление на енергията. MCDM техники като процеса на аналитичната йерархия (AHP), техниката за ред на предпочитание чрез сходство с идеалното решение (TOPSIS) или Simple Additive Weighting (SAW) могат да се

прилагат за изчисляване на общите резултати или класиране за всяка опция въз основа на претеглените критерии.

- **Решение и изпълнение:** Въз основа на класирането, системата за интелигентен дом избира опцията за управление на енергията с най-висок резултат или класиране. След това избраната опция се реализира и интелигентните устройства в дома се коригират съответно. Например, системата може да регулира настройките на термостата, да планира използването на уреда или да интегрира възобновяеми енергийни източници в електрическата мрежа.
- **Мониторинг и обратна връзка:** Системата за интелигентен дом непрекъснато следи консумацията на енергия и ефективността на избраната стратегия за управление на енергията. Тази обратна връзка позволява на системата да адаптира и усъвършенства процеса на вземане на решения с течение на времето, осигурявайки непрекъсната оптимизация и подобрение.

Чрез използването на MCDM техники при вземането на решения за управление на енергията, системата за интелигентен дом може да разгледа няколко критерия едновременно, да прецени относителната им важност и да избере най-подходящите стратегии за управление на енергията. Този подход позволява ефективно използване на енергията, намалени разходи, намалено въздействие върху околната среда и подобрена удовлетвореност на потребителите в интелигентната домашна среда.

2.1.4.2 Прилагане на техниките MCDM в сценария

В сценария на управление на енергията в интелигентен дом, множество MCDM техники могат да бъдат приложени за подпомагане на вземането на решения. Ето няколко примера:

- **Процес на аналитична йерархия (АНР):** АНР е широко използван метод на MCDM, който помага при структурирането и приоритизирането на критерии и алтернативи. В сценария за управление на енергията АНР може да се използва за определяне на относителните тегла на критерии като енергийна ефективност, разходи, въздействие върху околната среда и предпочитания на потребителите. Чрез сравнения по двойки собствениците на жилища могат да предоставят своите субективни преценки за важността на всеки критерий. АНР изчислява

приоритетни тегла за критериите, които след това могат да бъдат използвани при оценката и класирането на различни варианти за управление на енергията.

- **Техника за ред на предпочитание чрез сходство с идеалното решение (TOPSIS):** TOPSIS е друга техника на MCDM, която оценява алтернативите въз основа на тяхното сходство с идеалните и отрицателните идеални решения. В сценария за управление на енергията TOPSIS може да се използва за сравняване на различни варианти за управление на енергията спрямо определените критерии (Amorocho J., Hartmann T. 2022). Чрез нормализиране на данните и изчисляване на разстоянието до идеалните и отрицателните идеални решения, TOPSIS генерира относителен коефициент на близост за всяка алтернатива. Вариантът с най-висок коефициент на близост представлява най-доброто компромисно решение.
- **Weighted product model (WPM):** WPM е прост и ясен метод на MCDM, който изчислява общата желателност на алтернативите, като умножава оценките за ефективност на критериите със съответните им тегла. В сценария за управление на енергията WPM може да се приложи чрез задаване на тежести на критерии като енергийна ефективност, разходи, въздействие върху околната среда и предпочитания на потребителите. Оценките за ефективност за всяка алтернатива по отношение на тези критерии се умножават по техните тегла, а опцията с най-висока обща оценка представлява предпочитаният избор.
- **Метод за подреждане на предпочитанията за оценка на увеличаването (PROMETHEE):** PROMETHEE е метод на MCDM, който сравнява алтернативи въз основа на сравнения по двойки. Той разглежда множество критерии едновременно и генерира класации за алтернативи. В сценария за управление на енергията, PROMETHEE може да се използва от собствениците на жилища за оценка и класиране на различни възможности за управление на енергията. Предоставяйки сравнения по двойки на алтернативите по отношение на всеки критерий, PROMETHEE изчислява индексите на предпочитанията и генерира крайно класиране, посочвайки най-предпочитания вариант.

Това са само няколко примера за MCDM техники, които могат да бъдат приложени в сценария за управление на енергията на интелигентен дом. Изборът на техника (и) зависи от специфичните изисквания, предпочитания и налични данни. Тези

техники улесняват систематичния и структуриран процес на вземане на решения, като разглеждат множество критерии и оценяват алтернативите, което позволява избора на най-подходящата стратегия за управление на енергията за интелигентния дом.

2.1.4.3 Анализ на резултатите

След прилагането на MCDM техники към сценария за управление на енергията в интелигентен дом и получаване на резултатите, от решаващо значение е да се анализират и интерпретират резултатите. Ето един подход за анализ:

- **Сравнителен анализ:** Започва се с разглеждане на класирането или оценките, генерирани от техниките на MCDM за всяка опция за управление на енергията. Сравняват се алтернативите, за да се идентифицира опцията с най-висок или най-нисък резултат. Трябва да се обърне внимание на разликите в класирането или оценките сред алтернативите, за да се разбере нивото на предпочитание или вариация на представянето.
- **Анализ на чувствителността:** Извършва се анализ на чувствителността, за оценка на стабилността и устойчивостта на резултатите. Тества се въздействието от промяната на тегловите коефициенти, присвоени на критериите, или промяната на входните данни за класирането или оценките. Този анализ помага да се идентифицират критериите, които имат най-голямо влияние върху крайното решение и да се разберат потенциалните вариации в класирането или оценките, дължащи се на промени в предпочитанията или данните.
- **Анализ на критериите:** Оценка на ефективността на всеки вариант за управление на енергията по отношение на отделните критерии. Идентифицират се силните и слабите страни на всяка опция по отношение на енергийната ефективност, разходите, въздействието върху околната среда и предпочитанията на потребителите. Този анализ дава представа за специфичните аспекти на всяка алтернатива, което позволява по-задълбочено разбиране на тяхната пригодност и компромиси.
- **Анализ на компромисите:** Проучват се компромисите, свързани с процеса на вземане на решения. Определя се дали има някакви противоречиви критерии или цели. Например високоенергийно ефективният вариант може да има по-високи разходи или стратегията за интегриране на възобновяемата енергия

може да има по-голямо въздействие върху околната среда по време на етапа на инсталиране. Идентифицират се компромисите, които трябва да бъдат направени, и се обмислят предпочитанията и приоритетите на собствениците на жилища, за да се вземат информирани решения.

- **Обосновка на решението:** Въз основа на анализа обосновава се избрания вариант за управление на енергията. Подчертават се ключовите фактори, като например високооценено или високо резултатно представяне, благоприятно представяне в критични критерии или привеждане в съответствие с предпочитанията на собствениците на жилища. Обяснява се как избраната опция балансира различните критерии и цели, като се имат предвид включените компромиси. Тази обосновка помага да се гарантира прозрачност и предоставя ясна мотивировка за избраното решение.
- **Непрекъснато усъвършенстване:** Процесът на анализ и вземане на решения трябва да бъде итеративен и адаптивен. Ефективността на избраната опция за управление на енергията се наблюдава с течение на времето и се получава обратна връзка от собствениците на жилища. Оценяват се действителните икономии на енергия, намаляване на разходите, въздействие върху околната среда и постигната удовлетвореност на потребителите. Тази обратна връзка се включва в бъдещите процеси на вземане на решения, за да се подобряват непрекъснато стратегиите за управление на енергията в интелигентния дом.

Чрез провеждане на задълбочен анализ на резултатите, получени от техниките на MCDM, собствениците на жилища и заинтересованите страни могат да получат ценни прозрения, да вземат информирани решения и да се стремят към непрекъснати подобрения в управлението на енергията в интелигентната домашна среда.

2.1.5 Предизвикателства и противоречия при прилагането на MCDM към интелигентните домове

Докато техниките за многокритериално вземане на решения (MCDM) предлагат ценни прозрения и подкрепа при вземането на решения за при проектиране на интелигентни домове, има и предизвикателства и противоречия, свързани с тяхното прилагане.

2.1.5.1 Обяснение на предизвикателствата

- **Субективност и пристрастие:** MCDM методите разчитат на субективни преценки и предпочитания от заинтересованите страни. Придаването на тежести на критериите и сравняването на алтернативите могат да бъдат повлияни от лични пристрастия, водещи до несъответствия и спорове. Различните заинтересовани страни могат да имат различни гледни точки и приоритети, което прави предизвикателство осигуряването на обективност в процеса на вземане на решения.
- **Наличност и качество на данните:** MCDM техниките изискват точни и надеждни данни за оценка на алтернативите и критериите. В контекста на интелигентните домове получаването на такива данни може да бъде предизвикателство. Данните могат да бъдат непълни, непоследователни или ненадеждни поради неизправности в сензора, опасения за поверителността или ограничен достъп до информация в реално време. Справянето с проблемите с качеството на данните и попълването на пропуските в данните може да повлияе на надеждността и точността на процеса на вземане на решения.

Интелигентните домове включват различни взаимосвързани системи, устройства и заинтересовани страни, което води до сложен контекст на вземане на решения. Управлението на множество критерии, взаимозависимостите между решенията и необходимостта от координация между различните подсистеми поставят предизвикателства. Включването на всички релевантни фактори и улавянето на тънкостите на контекста на решението в рамките на MCDM може да бъде обезсърчително.

- **Динамичният характер на интелигентните домове:** Интелигентните домове са динамична среда, в която предпочитанията, изискванията и обстоятелствата могат да се променят с течение на времето. MCDM техниките често приемат статичен контекст на вземане на решения, който може да не улови развиващия се характер на интелигентните домове. Адаптирането на методите на MCDM за работа с динамична среда и включването на данни и обратна връзка в реално време става от решаващо значение за точното и навременно вземане на решения.

- **Компромиси и противоречиви цели:** Решенията за интелигентен дом често включват компромиси и противоречиви цели. Приоритизирането на един критерий може да влезе в конфликт с друг, което води до труден избор. Например, оптимизирането на енергийната ефективност може да се сблъска с предпочитанията за комфорт на потребителите или съображенията за разходите. Решаването на тези компромиси и намирането на приемливи компромиси, които съответстват на предпочитанията на заинтересованите страни, може да бъде сложно и предизвикателно.
- **Интерпретируемост и прозрачност:** MCDM техниките могат да доведат до сложни резултати, които са трудни за тълкуване или обяснение на собствениците на жилища и заинтересованите страни. Основните математически модели и агрегирането на множество критерии могат да направят предизвикателство разбирането на обосновката зад крайното решение или класиране. Осигуряването на интерпретативност и прозрачност на резултатите от MCDM е от решаващо значение за изграждането на доверие, приемане и ефективна комуникация между заинтересованите страни.
- **Възприемане и реализация:** Възприемането на MCDM техники в интелигентните домове може да срещне съпротива или скептицизъм от собствениците на жилища и заинтересованите страни. Възприеманата субективност, пристрастия и сложност на методите могат да създадат нежелание или съмнения относно тяхната ефективност. Обучението на заинтересованите страни, справянето с проблемите, включването им в процеса на вземане на решения и демонстрирането на ползите от MCDM може да насърчи приемането и ангажираността.

Справянето с тези предизвикателства изисква внимателно обмисляне на участието на заинтересованите страни, стратегиите за управление на данните, прозрачността на модела и адаптивността на техниките на MCDM към динамичния характер на интелигентните домове. Преодоляването на тези предизвикателства може да доведе до по-ефективно вземане на решения, повишена ефективност и подобро удовлетворение в контекста на интелигентните домове.

2.1.5.2 Обсъждане на противоречията

Нека да обсъдим някои от противоречията, свързани с прилагането на MCDM техники за интелигентни домове:

- **Субективност и пристрастие:** Субективният характер на методите на MCDM може да доведе до противоречия, свързани с необективност и справедливост. Различните заинтересовани страни могат да имат различни мнения и приоритети, което може да доведе до разногласия относно тежестите, присвоени на критериите, или предпочитанията за определени алтернативи. Възможно е да има опасения за скрити пристрастия в процеса на вземане на решения, които могат да подкопаят доверието и приемането сред заинтересованите страни.
- **Липса на консенсус:** Техниките на MCDM изискват заинтересованите страни да постигнат консенсус относно относителната важност на критериите и ефективността на алтернативите. Въпреки това, постигането на консенсус между заинтересованите страни с различен произход, интереси и перспективи може да бъде предизвикателство. Разногласия могат да възникнат поради противоречиви цели или лични предпочитания, което води до трудности при получаване на единно решение.

Прозрачност и интерпретируемост: MCDM техниките често включват сложни математически модели и изчисления, което прави предизвикателство за заинтересованите страни да разберат и интерпретират резултатите. Липсата на прозрачност в процеса на вземане на решения може да доведе до скептицизъм и недоверие. Заинтересованите страни могат да поставят под въпрос валидността на резултатите и да се борят да разберат как техните предпочитания и критерии са били разгледани в окончателното решение.

- **Решение за компромис:** Решенията за интелигентен дом често включват компромиси между противоречащи си критерии. Определянето на подходящите компромиси може да бъде спорно, тъй като различните заинтересовани страни могат да имат различни гледни точки за това какви компромиси трябва да бъдат направени. Противоречия могат да възникнат, когато заинтересованите страни възприемат, че техните предпочитания или

приоритети не са били адекватно разгледани или когато компромисите се възприемат като несправедливи или несправедливи.

- **Етични съображения:** Прилагането на MCDM техники към интелигентните домове повдига етични съображения. Например, може да има противоречия, свързани с неприкосновеността на личния живот при събирането и използването на данни от интелигентни домашни устройства за вземане на решения. Балансирането на ползите от оптимизирането на потреблението на енергия и комфорта на потребителите с опасенията за неприкосновеността на личния живот може да бъде предизвикателна етична дилема.
- **Технологични ограничения:** MCDM техниките разчитат на данни, алгоритми и изчислителни възможности. Технологичните ограничения, като например недостъпност на данните, проблеми с качеството на данните или изчислителни ограничения, могат да въведат противоречия. Точността и надеждността на резултатите могат да бъдат поставени под въпрос, ако заинтересованите страни възприемат, че използваната технология не е достатъчно стабилна, за да се справи със сложността и динамиката на вземането на решения за интелигентен дом.

Справянето с тези противоречия изисква прозрачни и приобщаващи процеси на вземане на решения. Ангажирането на заинтересованите страни, насърчаването на открити дискусии, предоставянето на обяснения за методите и резултатите и отчитането на етичните последици са от решаващо значение за изграждането на доверие, насърчаването на консенсус и справянето с потенциални противоречия. Стремещт към справедливост, прозрачност и отчетност при прилагането на техниките на MCDM може да помогне за смекчаване на противоречията и да гарантира приемането и ефективността на процесите на вземане на решения в интелигентните домове.

2.2. Модел за вземане на решение за избор на софтуерна платформа с отворен код за проектиране на домашна автоматизация с IoT

Интелигентната автоматизация на дома разчита на най-новите технологии, които дават много практически предимства като дистанционно управление на домашните функции; подобрена функционалност на устройствата; управление на всички домашни устройства от една централна точка; подобрена сигурност на дома; повишаване на енергийната ефективност и др. Всичко това позволява да се контролират функциите на дома от разстояние, като например стартиране на охладителя, преди да се приберете въщи; стартиране на фурната или проверка дали светлините са включени; който е на входната врата и т.н. (Lin et al., 2020). Сигурността на дома и енергийната ефективност са двата важни фактора, подкрепящи концепцията за интелигентен дом. Използването на камери за наблюдение и възможността за приемане на сигнали за сигурност на мобилно устройство позволява да се наблюдават дейностите в реално време (Arif et al., 2020). Интернет на нещата прави възможна оптимизацията на енергийната ефективност при проектирането на сгради, свързана с намаляване на енергийните разходи за отопление, охлаждане и осветление, включително в интелигентния дом (Guliashki & Marinova, 2021; Filho et al., 2019; Terroso-Saenz et al., 2019). Това се дължи на прецизния контрол върху отоплителните и охладителните устройства с програмируем интелигентен термостат, който планира температурата и предлага най-добрата енергийна ефективност. Автоматизираните нюанси също могат да бъдат програмирани във вечерен режим, когато слънцето залязва, дори светлините могат да се включват и изключват автоматично.

Използването на безжична технология не трябва да бъде самоцел, за да направите дома си умен, но трябва внимателно да се подхожда към избора и управлението на всяко устройство. Това е наложително, тъй като някои скорошни публикации предупреждават за възможни психологически и физически въздействия от прекомерната употреба на интелигентни технологии (Borissova et al., 2020; Марков, 2019). Тъй като използването на много интелигентни устройства не може да бъде предотвратено, решението трябва да се управлява правилно. За да направите това, той трябва да избере правилния софтуерен продукт за управление на тези интелигентни устройства. Има две възможности за избор на такъв софтуер, който може да управлява

интелигентен дом: търговски системи или системи с отворен код. При наличие на известен технически опит е възможно да изградите собствена автоматизация на дома. В този случай изборът е система с отворен код. Именно този случай мотивира автора да идентифицира някои от най-важните характеристики, които допринасят за избора на подходящи платформи за домашна автоматизация с отворен код. Основните дейности, с които се занимават IoT платформите, включват различни приложения и услуги за свързаност, софтуерни реализации, решения за големи данни и др.

2.2.1 Характеристики на платформите за домашна автоматизация с отворен код за управление на IoT

Сред разнообразието от платформи с отворен код за домашна автоматизация се разглежда ограничен набор а именно: OpenHAB; Home Assistant; Domoticz; Calaos; OpenMotics; HomeGenie; PiDome; Pytomatic; и OpenRemote. Благодарение на pluggable архитектурата OpenHAB осигуряват поддръжка на повече от 200 различни технологии и системи. Той използва мощен и гъвкав двигател за проектиране на правила с времеви и базирани на събития тригери и изпълнява различни скриптове, действия, известия и гласов контрол. Инсталацията може да се извърши на сървъри като Linux, macOS, Windows, Raspberry Pi, Docker, Synology и може да бъде достъпна чрез приложения за уеб, iOS, Android и други (<https://www.openhab.org/>). Следващата платформа е Home Assistant – софтуер за домашна автоматизация с отворен код, предназначен за интелигентни домашни устройства с фокус върху локалния контрол и неприкосновеността на личния живот (<https://www.home-assistant.io/>). Тя може да се изпълнява на Raspberry Pi или локален сървър. Разработен от Python, той позволява да се разшири функционалността му с помощта на плъгини. Domoticz е проектиран да работи в различни операционни системи, а потребителският интерфейс се осигурява чрез HTML5 и е съвместим с всички браузъри (<https://www.domoticz.com/>). За да инсталирате Domoticz е необходима Linux дистрибуция за Raspberry Pi, като Raspbian и интернет свързаност. Domoticz няма значително предимство пред Home Assistant или OpenHab. Добра платформа, но общността не е толкова силна, колкото преди. Има миграция на потребители към OpenHab или Home Assistant. В сравнение с другите две, той няма гъвкавост и поддържани устройства. Calaos може да управлява домашната среда като капази, затъмнени светлини, любима музика и т.н. Calaos има собствена

операционна система, съвместима с Linux (<https://calaos.fr/en/>). Ако интелигентните устройства имат възможност да комуникират с трети страни, те могат да бъдат интегрирани в системата OpenMotics (<https://www.openmotics.com/en/>). Предимството на HomeGenie е неговата поддръжка на многостандартна база и възможност за комуникация с външни уеб услуги, като по този начин се интегрират всички в обща среда за автоматизация (<http://www.homegenie.it/>). PiDome е подходящ за технически и нетехнически потребители. Той може да изпълнява няколко команди едновременно и може автоматично да създава графики с данни. Тя позволява писане на собствен клиент с Java клиентски библиотеки. Pytomatic е написана на Python, поддържа мобилни уеб и Android клиенти. Гласовите команди от Android имат уникален език за описание на устройства и действия, приложими за врати, светлини, движение, фотоклетка и др. За по-сложно управление има опционално програмиране "Mainloop" (<http://www.pytomatic.com/>). OpenRemote свържете всяко устройство или източник на данни за управление на активи в един интерфейс. Той има вградени инструменти за обработка на данни и създаване на правила за поддръжка на активи (<https://openremote.io/>).

Като се имат предвид всички характеристики, споменати по-горе, платформите с отворен код за домашна автоматизация имат някои общи параметри, които са идентифицирани. Те са свързани с:

- 1) Монтаж (инсталация);
- 2) Гъвкавост и потребителски интерфейс;
- 3) Общност от потребители;
- 4) Темп на развитие;
- 5) Интеграция;
- 6) Протоколи;
- 7) Език за програмиране.

Инсталационният параметър изразява степента на трудност при инсталирането на съответната платформа. Тъй като инсталацията се извършва само веднъж, времето и усилията не биха били особено важни. Добре е обаче потребителят да е запознат с необходимия софтуерен пакет.

Параметърът за гъвкавост и потребителски интерфейс отчита гъвкавостта на системата, включително броя на платформите, които се поддържат, докато потребителският интерфейс е фокусиран върху възможността за визуализиране на мобилни, уеб, други приложения. Потребителският интерфейс прави взаимодействието между човека и машината лесно, ефективно и удобно за потребителя, за да произведе желания резултат.

Общността от потребители е друг важен параметър, тъй като се изследват само платформи с отворен код. В зависимост от големината на потребителската общност е възможно да се добие представа за вече решени проблеми с конкретната платформа. Също така е възможно потребителите да дават съвети по възникнал въпрос. Следващият параметър за оценка се отнася до **темпа на развитие**. Това включва времето до следващата версия, броя на новите версии, продължителността на последната версия, без да е необходима актуализация, и размера на промените в новите версии.

Интеграционният параметър отчита броя на външните IoT платформи и системи (търговски и с отворен код), които биха могли да бъдат интегрирани. От голямо значение е да се знае дали конкретната платформа може да бъде интегрирана с други, тъй като концепцията за интелигентен дом включва различни устройства. Това се отнася особено за използваните **протоколи на инсталираните устройства** в интелигентен дом. В интелигентния дом сигурността на комуникацията е основна грижа, докато устройствата комуникират помежду си. Ето защо някои автори предлагат сигурна интелигентна домашна архитектура с облак, сигурна мъгла със защитна стена, двигател за анализ на сигурността (Ray & Bagwari, 2020). Друг възможен начин е чрез използване на нова схема за удостоверяване на потребителя чрез комбиниране на осведомеността за физическия контекст и историята на транзакциите (Fakroon et al., 2020). За да се реализира сигурна схема за удостоверяване, е необходимо да се използват криптографски алгоритми, които се основават на използването на случайни числа като ключове и уникални идентификатори (Mateeva et al., 2021).

В допълнение към посочените по-горе критерии, **езикът за програмиране** трябва да се разглежда като важен критерий, тъй като се разглеждат само платформи с

отворен код и писането на скриптове ще бъде възможно само ако потребителят е добре запознат със съответния език за програмиране.

Тези седем параметъра се считат за критерии за оценка и ще бъдат използвани за класиране на предварително определен набор от платформи с отворен код за домашна автоматизация. За целта трябва да се формулира подходящ модел за оценка и класиране.

2.2.2 Многокритериален модел за оценка и класиране на платформи за домашна автоматизация с отворен код

Общо взето две са основни групи подходи, способни да се справят с проблемите на MADM при оценка и класиране на платформи за домашна автоматизация:

- 1) методи, базирани на теорията на многоатрибутната полезност (MAUT) и
- 2) методи, базирани на теорията на изпреварващата връзка.

Моделите, базирани на MAUT, разчитат на функция за полезност, която агрегира предпочитанията на лицето, вземащо решение, по отношение на атрибутите за оценка. Вторият подход сравнява алтернативите по двойки за всеки критерий, търсейки предпочитана алтернатива. Някои от най-популярните и широко използвани модели, базирани на MAUT, са Simple Additive Weighting (SAW), модел на претеглен продукт (WPM), проста техника за оценяване с множество атрибути (SMART) и процес на аналитична йерархия (AHP) (Saaty 1990). Всички те разчитат на оценъчна оценка за представяне на алтернативата спрямо критерии и допълнителни претеглени коефициенти, които изразяват важноста на съответния критерий (Triantaphyllou et al. 1998). Трябва да се отбележи, че в някои ситуации е препоръчително да се използват модификации на тези режими, които отчитат мненията и предпочитанията на повече от един експерт. Това не само намалява субективния фактор, но и допринася за по-обобщен избор, базиран на оценките, според различните гледни точки на експертите в съответната област (Корсемов и Борисова 2018).

Проблемът за избора на подходящ софтуер за домашна автоматизация с отворен код е определен като многокритериален оптимизационен проблем, с целева функция. При многокритериално вземане на решение са налични множество възможности (алтернативи). За класифициране на платформите с отворен код, описани

по-горе, бяха използвани основните параметри, идентифицирани в раздел 2.1.1, считани за критерии за оценка, като се използва следната функция за полезност:

$$A_{WPM}^* = \max \prod_{j=1}^N (e_{ij})^{w_j}, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (2.1)$$

$$\sum_j^N w_j = 1 \quad (2.2)$$

където оценките на критериите (e_{ij}) биха могли да приемат стойности и по-голямата стойност съответства на по-доброто изпълнение на алтернативата по отношение на конкретния критерий. Наборът от алтернативи се изразява чрез индекс i , $i=\{1,2,\dots,M\}$, докато наборът от критерии за оценка се изразява чрез индекс j , $j=\{1,2,\dots,N\}$. Претеглените коефициенти w_j и оценки (e_{ij}) следва да споделят една и съща скала.

Най-добрата алтернатива ще бъде тази с висока стойност за общото представяне на алтернативата, изразена чрез умножаване на оценките на критериите на алтернативата по степента на претегления коефициент на изпълнение за съответния критерий, както е изразено от (2.1).

За да се направи класация на платформите за домашна автоматизация с отворен код за управление на IoT, беше използвано мнението на компетентен експерт (Decision Maker - DM), който ще внедри избраната платформа. Оценката на избраните платформи по отношение на определените критерии се извършва по скала от 0 до 100 (100 съответства на най-доброто представяне и 0 на най-лошото), последвано от нормализиране в диапазона между 0 и 1, както е показано в Таблица 2.1.

Таблица 2.1. Резултати за оценка за избрани платформи спрямо определени критерии

	Инсталация	Гъвкавост и потребителски интерфейс	Общността на потребителите	Темпо на развитие	Интеграция	Протоколи	Програмен език
Open HAB	1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.7
Home Assistant	0.9	0.89	0.78	0.88	0.8	0.9	0.85
Domoticz	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87	0.83	0.9
Calaos	0.75	1	0.68	0.7	0.82	0.87	0.9
OpenMotics	0.55	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.85
HomeGenie	0.8	1	0.5	0.62	0.6	0.6	0.8
PiDome	0.5	0.5	0.46	0.58	0.62	0.6	0.8
Pytomatic	0.53	0.52	0.42	0.53	0.6	0.66	0.85
OpenRemote	0.5	0.8	0.57	0.57	0.6	0.62	0.7

Избрани са следните критерии: 1) Инсталация; 2) Гъвкавост и UI; 3) Общност на потребителите; 4) Темп на разработка; 5) Интеграция; 6) Протоколи; и 7) Език за програмиране.

Алтернативите при вземане на решение за избор са следните платформи: 1) Open HAB; 2) Home Assistant; 3) Domoticz; 4) Calaos; 5) OpenMotics; 6) HomeGenie; 7) PiDome; 8) Pytomatic; 9) OpenRemote

Всички тези оценки са силно субективни, особено по отношение на езиците за програмиране. За реализиране на класирането с помощта на модела (2.1) – (2.2) заедно с оценките от Таблица 2.1 е необходимо да се определят и претеглените коефициенти за важността на критериите. В тази връзка експертът, оценил платформите за домашна автоматизация с отворен код за IoT, изразява предпочитанията си за четири различни случая, като използва различни тегла за важността на критериите, както е показано в Таблица 2.2.

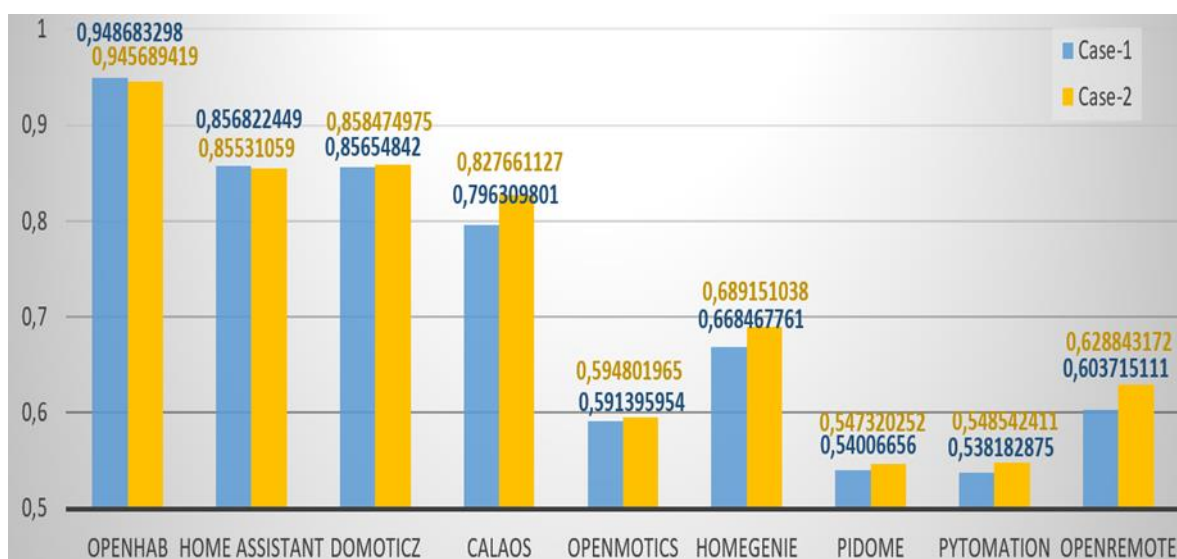
Таблица 2.2. Коефициенти за значимост на критериите за оценка

	Инсталация	Гъвкавост и потребителски интерфейс	Общността на потребителите	Темпо на развитие	Интеграция	Протоколи	Програмен език
	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7
Case-1	0.166	0.167	0.167	0.166	0.167	0.167	0
Case-2	0.10	0.25	0.12	0.12	0.24	0.17	0
Case-3	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14	0.15
Case-4	0.05	0.22	0.10	0.10	0.18	0.15	0.20

Case-1 и Case-2 не разглеждат параметъра "език за програмиране", докато Case-3 разглежда всички критерии с еднаква важност, а в Case-4 критериите са взети с различно значение.

2.2.3. Анализ на резултатите

Получените резултати за класирането на платформите за домашна автоматизация с отворен код за управление на IoT се основават на входните данни, дадени от Таблица 2.1, Таблица 2.2 с помощта на модела (2.1) – (2.2). Класираните платформи според Case-1 и Case-2, които не отчитат параметъра език за програмиране, са показани на Фиг. 2.1.



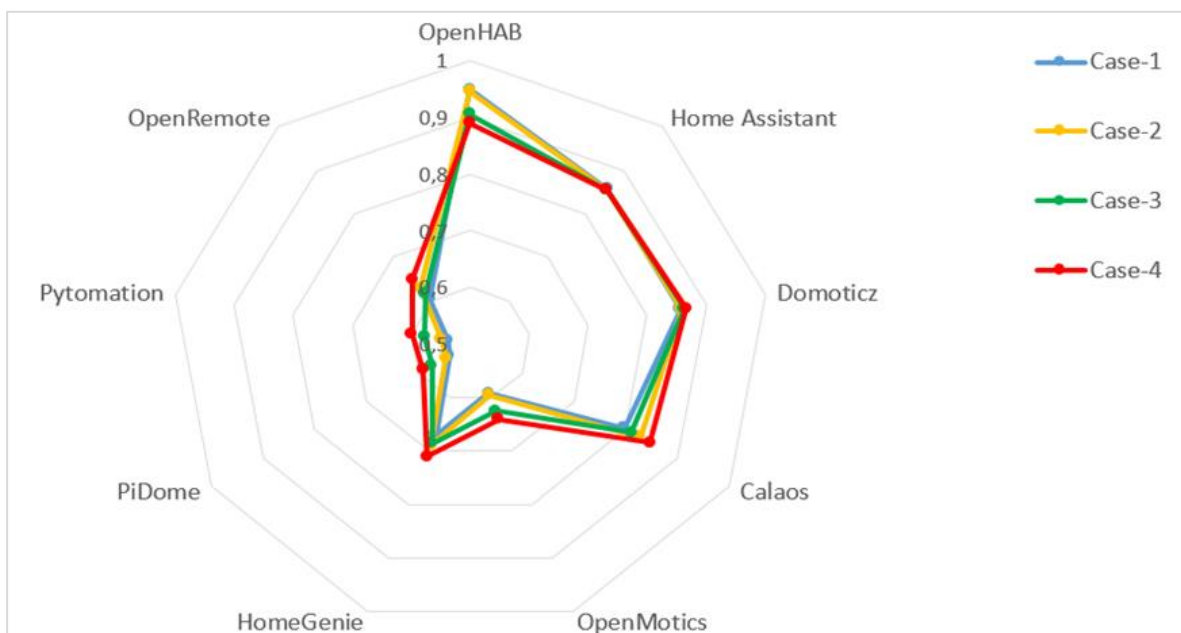
Фигура 2.1. Сравнение между класираните платформи според Case-1 & Case-2

Определените резултати (Таблица 2.1) за параметрите на OpenHAB водят до по-доброто му класиране сред останалите платформи. Въпреки малките разлики в класирането, заслужава да се отбележи влиянието на използваните коефициенти върху важността на критериите. Например, само OpenHAB, Home Assistant и Domoticz имат по-добри резултати, ако всички критерии се разглеждат с еднаква важност, с изключение на езика за програмиране (Case-1) в сравнение с Case-2, където предпочитанията към критериите за оценка имат различно разпределение. Има две допълнителни ситуации, които разглеждат всички критерии за оценка едновременно (Case-3 и Case-4). Класираните платформи според предпочитанията, изразени от Case-3 и Case-4, които отчитат параметъра език за програмиране, са показани на Фиг. 2.2.



Фигура 2.2. Сравнение между класираните платформи според Case-3 & Case-4

Това сравнение между предпочитанията за важността на критериите показва малка разлика в класирането. Например, резултатите в Case-3, където всички критерии се считат за еднакво важни, показват, че само OpenHAB и Home се представят по-добре, отколкото в Case-4, където значението на критериите приема различни стойности. Общото сравнение между всичките 4 случая е илюстрирано на Фиг. 2.3.



Фигура 2.3. Сравнение между различните класации

Платформата OpenHAB във всички случаи е класирана на върха на списъка и това се дължи на по-добрата ѝ оценка, дадена от потребителя в Таблица 2.1. Следващите в класацията са Home Assistant, Domoticz и Calos с малки разлики в изчислената стойност за функцията за полезност.

Получените резултати показаха, че класирането на платформите за домашна автоматизация с отворен код за управление на IoT зависи от предпочитанията на конкретен вземащ решения. Това е свързано с определянето на набора от платформи, които трябва да бъдат класирани, и критериите за оценка. Третият важен компонент е използваният модел за оценка на ефективността на алтернативата. В зависимост от използвания модел се добавя допълнителен субективен елемент в претеглените коефициенти за значимост на критериите.

Независимо коя платформа ще бъде избрана за домашна автоматизация, тя трябва да е съвместима с вече инсталирани смарт устройства в дома. Това се отнася по-специално до съвместимостта на протоколите, като се гарантира събирането и предаването на данни. Използването на подходящи софтуерни платформи за интелигентно управление на дома ще създаде предпоставка за правилна автоматизация на отделните устройства. По този начин е възможно да се оптимизира

работата на смарт устройствата чрез подходящи програмни скриптове или чрез използване на някои правила.

2.3. Модел за определяне на компетентности по IoT

За да се поддържат такива сложни системи е необходимо да се предложи модел за оценка и класиране на компетентности, базиран на ключови индикатори за измерване на знанията в областта на IoT и уменията за работа в екип. Изискванията за умения на пазара на труда са сравнително нова област на изследване и изискванията за умения варират от компания до компания и от индустрия до индустрия. Преди да се опише най-предпочитаният претендент за определена длъжност, е необходимо да се разбере разликата между твърдите и меките умения. В общия случай твърдите умения се отнасят до тези способности, които могат да бъдат измерени, докато меките умения са трудни за измерване и се считат за по-универсални и биха могли да се отнасят не само до една конкретна работа. В областта на управлението на софтуерни проекти в изследването (Schlichter & Buchynska, 2021) се обсъждат меките умения, които HR трябва да притежава, за да подобри процеса на съвместно набавяне на съответен екип. Други автори описват как ИТ компаниите търсят кандидати за отворените си позиции (Montandon et al., 2021). Те заключиха, че езиците за програмиране са най-търсените твърди умения, докато комуникацията, сътрудничеството и решаването на проблеми са най-търсените сред меките умения.

Има много изследвания, фокусирани върху оценката на придобитите твърди умения, докато меките умения се пренебрегват (Mustakerov & Borissova, 2011; Борисова и Керемедчиев, 2019). Установено е, че изискванията за твърди умения на високо ниво са положително свързани с разликите в производителността във фирмите (Lyu & Liu, 2021). Напоследък нарастващият интерес към меките умения се фокусира върху изследването на основните фактори за разбирането на това как те се влияят от социално-икономическия и семейния произход (Marcenaro-Gutierrez et al, 2021). Авторите съчетават иконометричната с многокритериална оптимизация, за да осигурят всеобхватна рамка за оценка на компромисите между различните измерения на некогнитивните умения. Предложен е оптимизационен модел, способен да се справи с обективната оценка и субективните критерии, съчетани с компетентността на

членовете на групата в личния подбор (Борисова, 2018). Предлагат се различни подходи за справяне с проблемите на многокритериалното решение (Борисова, 2021; Балабанов, 2021).

Приложението на IoT може да се намери във всяка област от реалния ни живот и като такъв сложен проблем е трудно да се посочат всички трудни умения, които предпочитаният кандидат трябва да срещне. Един добър IoT специалист трябва да има познания в областта на сензорите, които измерват и гарантират превръщането на данните за околната среда в машинно четими данни. IoT свързва хетерогенни устройства, които трябва да комуникират независимо от използвания хардуер и софтуер. От особено значение са знанията в областта на технологиите за пренос на данни, включително безжични мрежи и правилни протоколи (Hofer-Schmitz & Stojanovic, 2020). Тези протоколи трябва да бъдат достатъчно сигурни и по-малко консумация на енергия, за да се осигури непрекъсната връзка в реално време на предаваните данни (Bahashwan et al., 2021). Необходими са допълнителни знания за разбиране на извличането на данни (Naka & Guliashki, 2021), някои техники за изкуствен интелект (Jafari et al., 2020) и моделите за вземане на решения (Borissova, 2021), които са предпоставка за правилното функциониране на IoT. Не на последно място разбирането на конкретното приложение е предимство за справяне с някои предизвикателства. Всички те определят значението на IoT технологията в областта на образованието за подобряване на ефективността на преподаването и ученето (Ramlowat & Pattanayak, 2019).

Значението на твърдите и меките умения определя необходимостта от установяване на подходящ подход за оценка на най-подходящия кандидат за конкретната длъжностна характеристика. Трябва да се отбележи, че различните икономически сектори ще идентифицират различни специфични изисквания, свързани с твърдите и меките умения. Меките умения могат да се разглеждат като движещи сили на тенденцията за повишаване на квалификацията, докато изискването за твърди умения е относително постоянно.

2.3.1 Ключови индикатори за измерване

За да бъде успешен добре образованият IoT специалист, той трябва да владее разнообразни технологии, свързани със сензори и обработка на сигнали, софтуер

(езици за програмиране), комуникационни протоколи, извличане на данни и вземане на решения. Тези ключови показатели са от решаващо значение за практическата им реализация и включват и конкретна област на приложение като: здраве, спорт и ежедневна дейност, проследяване и локализация, безопасност и др. Предложената концепция за необходимата компетентност на IoT специалиста е илюстрирана на Фиг. 2.4.



Фигура 2.4. Твърди умения и знания за успешен IoT специалист 1

Уменията, свързани със сензорите, включват и компетенции като обработка на сигнали, анализ на данни, обработка на големи данни, визуализация на данни. Софтуерните умения предполагат наличието на възможност за програмиране на един или повече езици за програмиране за програмиране на сензори или за визуализиране и анализ на данните от обработката на сигнали. След като тези данни бъдат придобити, те трябва да бъдат предадени чрез подходяща комуникационна мрежа и подходящи протоколи към специален сървър или облак. На този етап всички прехвърлени данни трябва да бъдат правилно обработени (извличане на данни), като се използват различни методи, включително статистика и машинно обучение, за да се получи полезна информация. И накрая, получената информация трябва да бъде анализирана допълнително чрез различни модели за вземане на решения за бизнес разузнаване, за да се определи окончателното решение. Целият този процес трябва да бъде подчинен на съответната тематична област, в която се реализира IoT.

Наред с тези задължителни твърди умения, предпочитаният специалист в областта на IoT трябва да има и допълнителните умения като добра комуникация, работа в екип, лидерство, предприемачество, способност за управление на конфликти и стрес, мотивация, управление на времето, изграждане на доверие, вземане на решения и др.

Основа на рамката, показана на Фиг. 2.4 и като се има предвид споменатите по-горе умения, следните твърди и меки умения могат да бъдат определени, както следва:

1. *Твърди умения: сензори, обработка на сигнали, извличане на данни, статистика, анализ на данни, визуализация на данни, големи данни, машинно обучение, език за програмиране.*
2. *Меки умения: комуникация, работа в екип, лидерство, предприемачество, управление на конфликти, управление на стреса, мотивация, управление на времето, изграждане на доверие, вземане на решения, решаване на проблеми, сътрудничество, адаптивност и др.*

Трябва да се отбележи, че твърдите умения са много по-лесни за идентифициране, тъй като могат да бъдат измерени, докато меките умения са силно субективни. Тези два вида умения могат да се разглеждат като критерии за оценка за измерване на напредъка на учениците в IoT и способността им за работа в екип.

2.3.2 Многокритериален математически модел за оценка на знания на специалистите в областта на IoT и способността за работа в екип

За да може да се оценят знанията на специалистите и способността им да се адаптират към работата в екип, е необходимо да се разгледат две отделни части, свързани с твърдите и меките умения. Това може да се реализира чрез предложението математически модел за оценка на постиженията на специалистите (2.3)-(2.6), формулиран по следния начин: $S_i^{performance}$

$$S_i^{performance} = \max\{\alpha \sum_{h=1}^H w_h e_{ih} + \beta \sum_{s=1}^T w_s e_{is}\}, \forall i = 1, \dots, N \quad (2.3)$$

$$\alpha + \beta = 1 \quad (1.4)$$

$$\sum_{h=1}^H w_h = 1 \quad (2.5)$$

$$\sum_{s=1}^S w_s = 1 \quad (2.6)$$

където $i=\{1,2,\dots,N\}$ представлява зададените специалисти, коефициентът α изразява значението на твърдите умения, докато коефициентът β изразява способността за работа в екип (меки умения), коефициентите w_h и w_s изразяват относителната важност между критериите, свързани с твърдите и меките умения, e_{ih} и e_{is} представляват

оценките на i -тия специалист около h -ия критерий, свързан с твърдите умения, и съответния i -ти специалист около s -ия критерий, свързан с меките умения.

Следва да се отбележи, че този диапазон за оценките и трябва да съответства на обхвата на други променливи на предложения модел (2.3) – (2.6). Следователно приемливият диапазон за тези резултати е да бъде между e_{ih} и e_{is} да има сравнима скала. Изразът (2.4) дава възможност да се обединят отделените две части от оценката по отношение на твърдите умения (придобити знания) и меките умения (способност за работа в екип) в окончателната обобщена оценка. Както може да се види от формулата (2.3), класирането на специалистите се реализира, като се вземат предвид твърдите и меките умения и тези два вида компоненти могат да бъдат взети предвид с различно значение. Тази функция позволява моделът да бъде направен по-гъвкав, за да се вземат предвид твърдите и меките умения с различни пропорции при определяне на крайното комплексно класиране на специалисти.

Предложеният математически модел (2.3) – (2.6) може да бъде опростен чрез използване на стойност, равна на нула за коефициента β ($\beta=0$). В този случай моделът (2.3) – (2.6) ще разчита само на твърдите умения (придобити знания) на специалистите.

2.4 Изводи

Интелигентните домове включват взаимосвързани системи, устройства и заинтересовани страни, което води до сложни сценарии за вземане на решения. Техниките на MCDM позволяват разглеждането на множество критерии и оценката на алтернативите по структуриран начин, като помагат да се управлява сложността и да се вземат информирани решения.

Вземането на решения за интелигентен дом обикновено включва множество критерии, като енергийна ефективност, разходи, въздействие върху околната среда, предпочитания на потребителите и др. MCDM техниките позволяват едновременното разглеждане на тези разнообразни критерии, осигурявайки цялостна оценка и приоритизиране на алтернативите.

Интелигентните домове често имат ограничени ресурси, като енергия, честотна лента или изчислителна мощност. Методите на MCDM помагат за ефективното

разпределяне на тези ресурси между различни устройства или услуги в дома, като оптимизират използването им въз основа на множество критерии и ограничения.

Решенията за интелигентен дом често изискват компромиси между противоречиви цели или критерии. Техниките на MCDM улесняват анализа на компромисите чрез количествено определяне на ефективността на алтернативите по различни критерии, което позволява на собствениците на жилища да вземат добре информирани решения, които балансират конкурентните цели.

MCDM техниките позволяват включването на предпочитанията и приоритетите на потребителите в процеса на вземане на решения. Като разглеждат предпочитанията на потребителите като критерий, системите за интелигентен дом могат да приспособят резултатите от решенията, за да се приведат в съответствие с нуждите на собствениците на жилища, повишавайки удовлетвореността и ангажираността на потребителите.

Методите MCDM помагат за оптимизиране на потреблението на енергия, оценка на енергийните източници, моделите на използване на уредите и стратегиите за интегриране на възобновяемата енергия въз основа на енергийната ефективност, разходите, въздействието върху околната среда и предпочитанията на потребителите.

MCDM техниките помагат на собствениците на жилища да изберат най-подходящите интелигентни устройства въз основа на критерии като функционалност, съвместимост, енергийна ефективност, цена и предпочитания на потребителите. Методите на MCDM помагат при оценката и избора на системи за сигурност и механизми за поверителност въз основа на ефективност, лекота на използване, цена и съвместимост с други интелигентни устройства. MCDM техниките подпомагат вземането на решения за стратегии за автоматизация и контрол в интелигентните домове, оптимизирайки комфорта, енергийната ефективност и предпочитанията на потребителите при планирането и настройването на устройства и подсистеми.

MCDM методите помагат при разпределянето на ограничени ресурси като честотна лента, изчислителна мощност или капацитет за съхранение между различни устройства или услуги в рамките на интелигентния дом въз основа на важността, изискванията и изискванията на потребителите.

Като цяло, MCDM техниките подобряват възможностите за вземане на решения в интелигентните домове, като разглеждат множество критерии едновременно,

предоставяйки прозрения за компромиси, оптимизиране на разпределението на ресурсите и приспособяване на решенията към предпочитанията на потребителите.

Чрез използване на техниките на MCDM в тази глава е идентифициран набор от подходящи платформи за домашна автоматизация с отворен код. Основните усилия са насочени към определяне на критериите за оценка, тъй като те влияят на крайното решение. Базиран на MAUT модел се използва за класиране на платформи въз основа на определени критерии за оценка. Показано е, че използваните критерии за оценка, съчетани с тежестта им на важност, влияят върху избора на крайното решение. Получените резултати демонстрират приложимостта на описания подход. Няма пречка да се използват различни модели за класиране на платформи. Тъй като описаният проблем е добре структуриран, той може лесно да бъде кодиран в подходяща уеб-базирана система, дори в електронни таблици на Google, където лесно може да бъде модифициран и поддържан. Такъв подход може да се приложи при избора на IoT платформи за индустриални приложения.

Съдържанието на тази глава е отразено в 3 публикации:

1. **Danev, V.**, Kirilov, L., Nikolov, R. Creating Smart Home Environment Based on Open Source Home Automation Software. CompSysTech'21: International Conference on Computer Systems and Technologies,'21, June 2021, pp. 81-86, <https://doi.org/10.1145/3472410.3472444> **(Scopus)**
2. Borissova, D., **Danev, V.**, Garvanov, M., Yoshinov, R., Garvanov, I.: Identification of the Important Parameters for Ranking of Open-Source Home Automation Platforms for IoT Management. In: Borzemski, L., Selvaraj, H., Świątek, J. (eds) Advances in Systems Engineering. ICSEng 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 364, pp. 310–319, 2022, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92604-5_28 **(SJR=0.15)**
3. Borissova, D., **Danev, V.**, Garvanova, M., Garvanov, I., Yoshinov, R.: Key Indicators to Measure Student Performance in IoT and Their Teamwork Ability. In: Auer, M.E., Tsiatsos, T. (eds) New Realities, Mobile Systems and Applications. IMCL 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 411, pp 711–720, 2022, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96296-8_64 **(SJR=0.15)**

ГЛАВА 3.

ЧИСЛЕНО ТЕСТВАНЕ НА ПРЕДЛОЖЕНИТЕ МОДЕЛИ, ПРЕДЛОЖЕНИ ЗА РЕАЛИЗИРАНЕТО НА УМЕН ДОМ

3.1 Изграждане на интелигентна домашна среда

Разглежданият проблем е фокусиран върху комбинирането на предимствата на IoT за ефективно управление на интелигентното отопление на дома чрез използване на софтуерната платформа OpenHAB. За да се реализира такъв подход, е необходимо да се използва подходящ хардуер и софтуер.

Основните предизвикателства при изграждането на интелигентна домашна среда зависят от следните фактори:

- сложността на дома,
- потребителски предпочитания, какъв брой домашни функции да се вземат предвид,
- възможност за бъдещо развитие/надграждане на системата,
- какъв тип смарт устройства да се избере и как да се комбинират,
- какъв тип управление да се избере.

Първите три фактора изискват много креативност и опит в дизайна, докато другите два могат да се разглеждат повече или по-малко стандартизирани. Въпреки това, повечето производители определят свои собствени стандарти, така че комбинирането на различни устройства се превръща в истинско предизвикателство. Основният проблем е, че никой производител не решава всички задачи, поставени пред умните къщи. Стига се до абсурда всеки аспект да има отделно приложение за управление. Това прави невъзможна комуникацията между различните производители и ограничава решаването на задачите. Обединяването на различни устройства под обща платформа улеснява цялостния процес.

Едно от възможните хардуерни решения е Raspberry Pi, който е едноплаткова, евтина и високопроизводителна изчислителна техника. Тези функции го правят най-

добрият претендент за приложения в един интелигентен дом и са станали повсеместни в света на IoT. Сред софтуерните платформи с отворен код за домашна автоматизация, базирани на IoT, OpenHAB може да бъде идеалният избор, както е показано в раздел 2.2 на този дисертационен труд.

3.1.1 Хардуерно решение за ефективно управление на IoT-базираното интелигентно отопление на дома

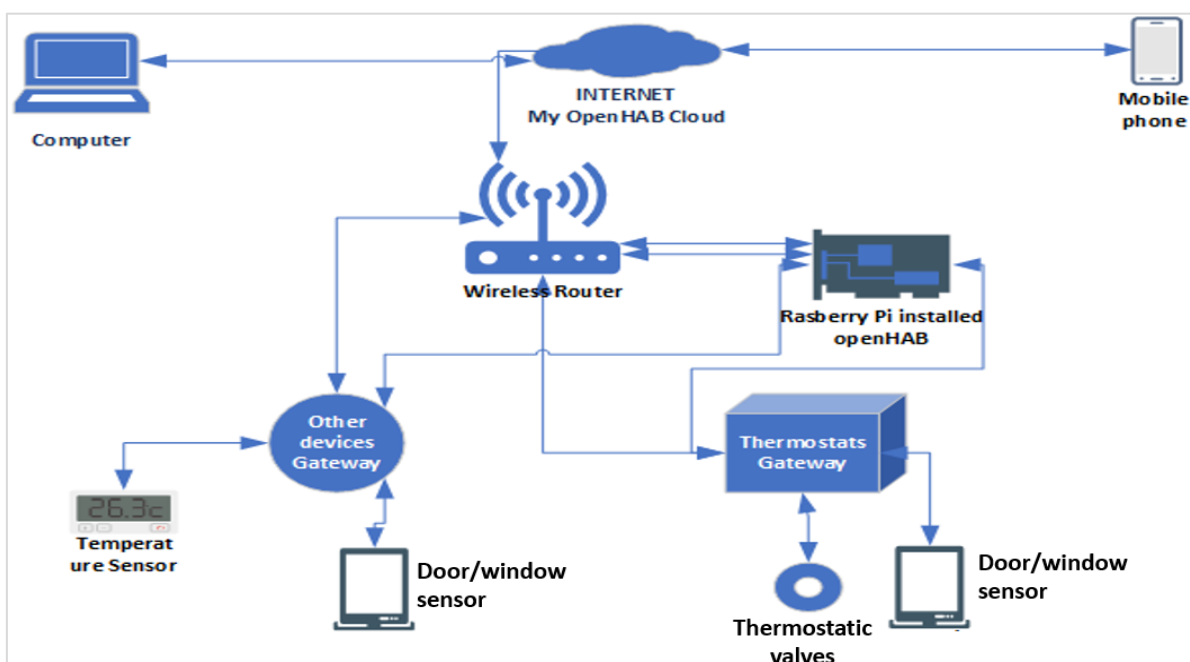
Хардуерните компоненти, използвани за внедряване на IoT, могат да варират от платки с ниска мощност или едноплаткови процесори като Arduino Uno (Ahmed et al., 2021). Тези елементи са включени в допълнителни дънни платки, за да се увеличи тяхната функционалност чрез предоставяне на специфични функции като GPS, светлинни и топлинни сензори или интерактивни дисплеи. Друга възможна алтернатива със софтуер с ниска мощност и отворен код е едноплатковият компютър BeagleBoard (Uwiringiyimana et al., 2021). Напоследък най-популярната платформа за IoT е Raspberry Pi (Фиг.3.1), защото това е много достъпен малък компютър, който може да включва цял уеб сървър (Raju et al., 2021; Данев, и др., 2021).



Фигура 3.1. Raspberry Pi

3.1.1.1 Системна архитектура на отоплението на умен дом

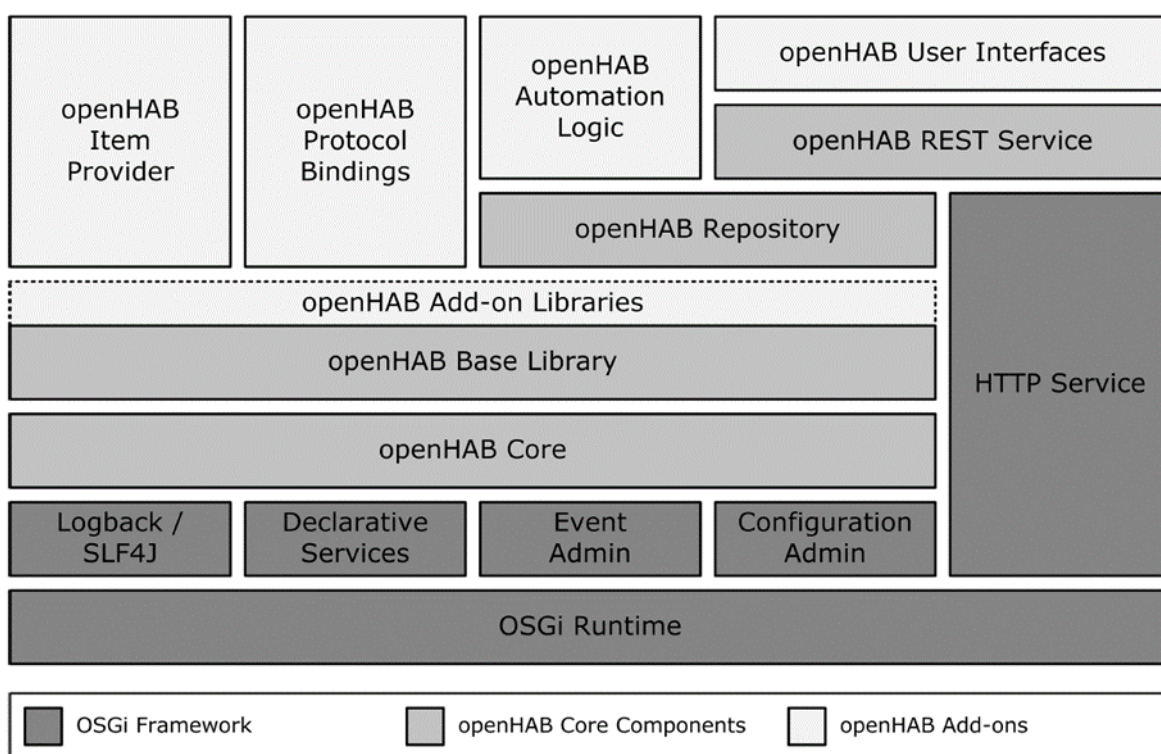
За да се даде възможност за управление на енергийната ефективност в интелигентен дом е необходимо да бъде в състояние да контролира температурата. Това може да се постигне чрез използване на сензори за движение, температура, интелигентни контакти, термостати и др. Възможно решение за управление на енергийната ефективност в умен дом с помощта на подобни сензори е показано на Фиг. 3.2.



Фигура 3.2 Интелигентна архитектура за автоматизация на отоплението

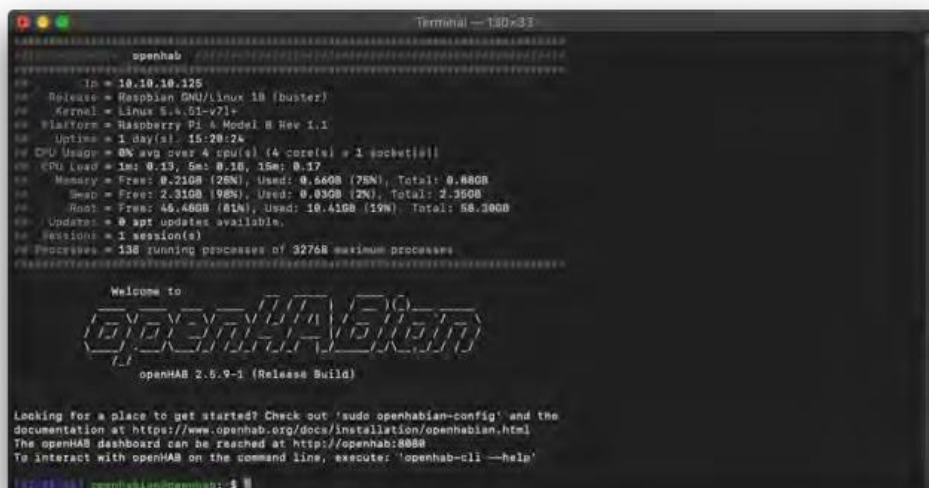
Платформата OpenHAB е избрана в раздел 2.2 съгласно приложените MCDM техники. Физическите устройства и контролери (IoT) на интелигентната домашна среда се избира най-вече от Xiaomi и MAX!. Проучвания в този дисертационен труд показват, че Xiaomi представя най-широката гама от продукти. Без да си поставя за цел да даде пълен преглед на продуктите на Xiaomi, от които много вече са написани и заснети в интернет, по-скоро ще даде списък на свойствата и нюансите на използването на компонентите на екосистемата Xiaomi. Всички класически компоненти на екосистемата Xiaomi използват протокола ZigBee за комуникация. Чрез използването на ZigBee компоненти Xiaomi създава самоорганизиращи се и самовъзстановяващи се мрежести топологии с предаване и маршрутизиране на съобщения.

Компонентите, използващи ZigBee, се характеризират с ниска консумация на енергия. Устройствата на Xiaomi, захранвани от миниатюрни батерии, издържат поне една година и е осигурено предупреждение за приближаване на изтощени батерии. OpenHAB се основава на няколко различни слоя технологии, които осигуряват необходимата функционалност на системата, за да бъде интерактивна. Вградените възможности за визуализация, налични за всяко устройство, улесняват първоначалните усилия за тестване на функционалността на системата. Използват се няколко различни протокола (Фиг. 3.3).



Фигура 3.3 . Протоколи, използвани от openHAB

Минималните хардуерни изисквания за инсталиране на OpenHAB са Raspberry Pi 3; висок клас 32 GB SD карта; Интернет връзка. Инсталацията е проста. След изтеглянето на OpenHAB за Raspberry Pi и инсталиране на SD картата, включва се Raspberry Pi, свързва се с интернет, изчаква се 30 – 50 минути и OpenHAB е готов за работа. Успешното инсталиране на OpenHAB е показано на Фигура 3.4.



Фигура 3.4. Успешното инсталиране на OpenHAB.

В идеалния случай интелигентната къща има централен възел, който контролира електроенергия на всички потребители/устройства. Такъв модул, неизбежно внушителен по размер, обикновено се монтира до електрическото разпределително табло. По този начин, например, превключването на светлината в стаята не е свързано директно с лампа на тавана. Напротив, стенен превключвател за ниско напрежение предава командата само на изпълнителния блок в управлението на възела и вече има 220V, доставени към лампата. Въпреки всички предимства на този подход, неговото прилагане е свързано с окабеляване на невероятно голям брой кабели и превключване на милиони връзки в контролния панел (в нашия случай OpenHAB UI).

3.1.1.2 Шлюз

За функционирането си системата се нуждае от шлюз. Шлюзът действа като мост между устройствата, ZigBee и външния свят чрез Wi-Fi. Както е планирано от Xiaomi, взаимодействието с шлюза ще се осъществява чрез собственото приложение MI Home, където ще бъде възможно да се свързват устройства ZigBee към шлюза, да се задават техните имена и местоположения. След това те могат да се управляват поотделно чрез MI Home, като се използва смартфон като дистанционно управление или графично да се настроят прости сценарии за взаимодействие от типа „ако А – направете В, в противен случай направете С“. Всичко това осигурява стабилна работа, включително дистанционно управление през интернет (не само от локално) без да е необходимо домашният рутер да бъде конфигуриран.

Xiaomi Gateway има специален протокол за безжична комуникация. Този протокол дава възможност за взаимно свързване към всички системи на интелигентния дом, поддържайки интеграцията на екосистемата Xiaomi. Трябва да се отбележи, че описаните методи за взаимодействие с шлюза не се изключват взаимно и могат да се използват паралелно. Това може да има някакъв смисъл, когато се настройва OpenHAB (или подобни системи), но не се прави постоянно. Шлюзът няма достъп до интернет и е напълно автономен.

В допълнение към превключвателите, Xiaomi предлага различни сензори, като сензори за дим, сензори за изтичане на газ, сензори за изтичане на вода, магнитни сензори за отваряне на врати (прозорци), сензори за температура и влажност, сензори за движение и т.н. Сензорите, захранвани от батерии (с изключение на сензора за изтичане на газ - консумацията му е твърде висока) работят дълго и стабилно. Трябва да се каже, че сензорът за движение не може да се използва във всички ситуации поради хардуерни ограничения, които не могат да бъдат преодоленни. Също така, след откриване на движение, сензорът заспива за няколко минути, игнорирайки случващото се. Отделно от това не регистрира присъствие и единствено движение. Така че статичната фигура на човек пред него не се засича. Например само с негова помощ не може да се установи точното присъствие на хора в тоалетната, за автоматично управление на светлината и т.н., както е предвидено. За отбелязване това е много условен минус и е продиктуван от целта да се осигури дълго време на работа на сензора от миниатюрна батерия. И с такова ограничение е невъзможно непрекъснато да се анализират данните за инфрачервената ситуация в стаята.

Освен това, интересна функционалност може лесно и лесно да се постигне с помощта на софтуер от OpenHAB. Най-простият пример е вентил с двигател за дистанционно припокриване на основното водоснабдяване, влизащо в къщата. На теория той се управлява от специален превключвател, който захранва фаза към един от двата контролни проводника. За тази цел се използва конвенционален превключвател с два бутона. Софтуерното управление се осъществява чрез OpenHAB чрез скрипт на базата на две команди: "дай вода" и "прекъсни".

Някои устройства на Xiaomi, като например лампи, работят директно през Wi-Fi – както винаги се захранват от захранващата линия. OpenHAB работи ефективно и с тях.

3.1.2 Софтуерно решение за автоматизация на отоплението на умен дом

За да се реализира автоматизацията на отоплението в умен дом, трябва да се монтират интелигентни термостатични вентили за радиатори. Тези клапани могат да бъдат свързани към подходяща софтуерна платформа като OpenHAB. Когато се командва за предпочитаната температура, тези клапани остават отворени, докато се достигне зададената температурна стойност. Това се отчита чрез клапан с вграден температурен сензор, който осигурява информация за температурата в помещението. Термостатичните вентили могат да се управляват и ръчно, когато жителите искат температура, различна от автоматично зададената. Едно от предимствата е, че без значение как се повишава температурата (от пряка слънчева светлина от прозореца, електрически нагревател и т.н.), термостатичният вентил се затваря автоматично при достигане на зададената температура. Контролът на отоплението е само част от цялостната дигитална трансформация на дома, която включва управление на осветлението, сигурност, противопожарна и защита от наводнения и др.

Софтуерната платформа OpenHAB е базирана на езика за програмиране Java и поддържа софтуерна архитектура за реализация на уеб услуги REST (Representational state transfer) (Borissova et al., 2022). В допълнение, тази софтуерна платформа може да бъде достъпна чрез уеб интерфейс, поддържа много плъгини и много протоколи, включително MQTT (OpenHAB, 2022). Всичко това прави тази платформа с отворен код предпочитана при превръщането на дома ни в умен дом (Данев, и кол., 2021).

3.1.2.1 Правила за конфигуриране на софтуера за отоплението на умен дом

За да се осъществи управлението на термо вентилите, които се използват за осигуряване на зададена температура, е необходимо да се установяват определени правила. Целта на тези правила е да се дадат инструкции какво да се прави при определена температура и време или при отваряне на прозорец.

Първият тип правила се отнася до времето и температурата и позволява да се настрои зададена температура в определено време на деня. Псевдокодът на това правило е следният:

```
АКО времето = <определено време> ТОГАВА <valves_name  
_setpoint_temperature> = <предпочитана температура >
```

Възможно е да се зададат различни часови зони за:

- Сутрин 6:30 – 8:00,
- Ден 8:00 – 18:00,
- Вечер 18:00 – 21:00,
- нощ 21:00 – 6:00.

Тези часови зони могат да бъдат различни за всяка стая и може да се зададе нееднаква температура. Също така е възможно в едно правило да се комбинират разни помещенията или да се създаде друго правило за едно от помещенията, за да се осигури желаната температура в други часови зони. Броят на автоматично зададените температури в определени часове е практически неограничен.

Вторият вид правила се отнася до отварянето и затварянето на прозорец/и. Когато се отвори прозорец в помещението, термостатичният вентил трябва да бъде затворен, за да се предотвратят по-нататъшни загуби на топлина. Псевдокодът на тези правила е следният:

CLOSED_OPEN

АКО <sensor_status_open_window> променени от CLOSED на OPEN,

ТОГАВА променлива = <valves_name_setpoint_temperature> &

<valves_name_setpoint_temperature> = MIN

OPEN_CLOSED

АКО <sensor_status_open_window> променен от OPEN на CLOSED

ТОГАВА <valves_name_setpoint_temperature> = променлива

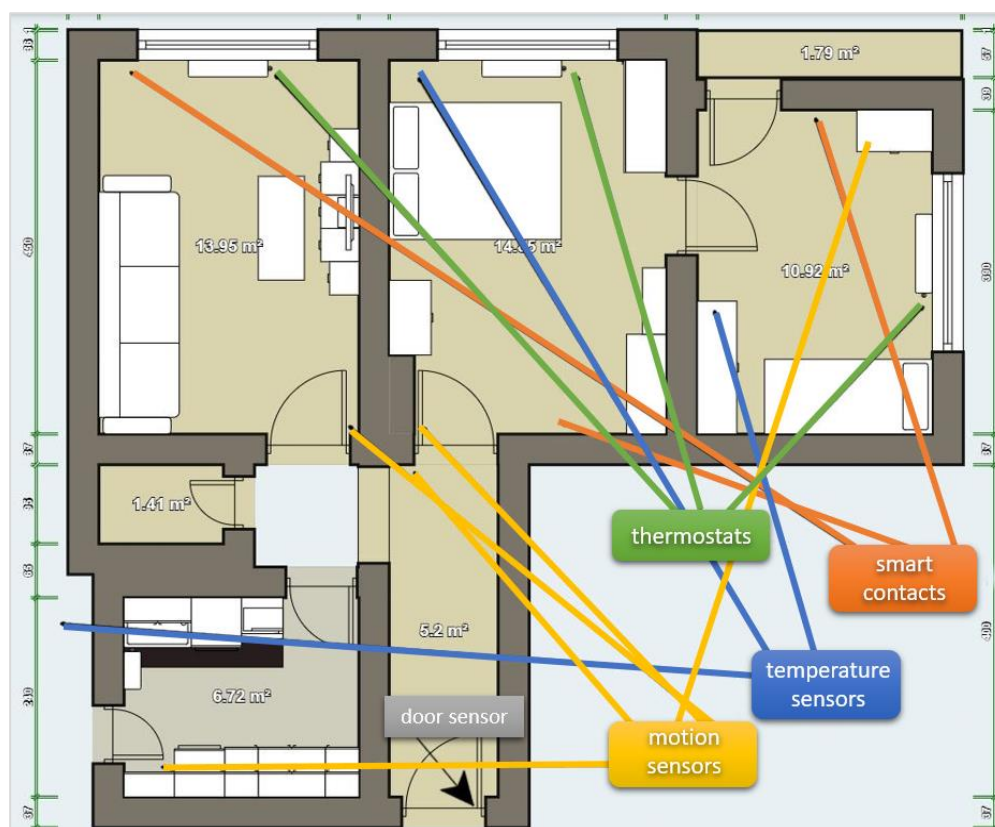
Използването на променливата гарантира, че желаната температура на клапана се връща преди отварянето на прозореца. MIN константата може да бъде настроена на определена стойност, при която клапанът е напълно затворен. Тъй като радиаторите почти винаги са разположени до прозорците, целта на тези правила е да се предотврати директното изтичане на топлина при отваряне, например по време на вентилация.

3.2. Числено симулиране на предложения проект на интелигентно отопление чрез софтуер за домашна автоматизация с отворен код OpenHAB

В този раздел е описано численото тестване на предложения модел за вземане на решение за избор на платформа при проектиране на домашна IoT автоматизация с отворен код, описан в раздел 2.2 на Глава 2.

3.2.1. Входни данни

Приложимостта на описания подход е тествана за апартамент със стаи, чието разпределение и използвани сензори са показани на Фиг. 3.5.



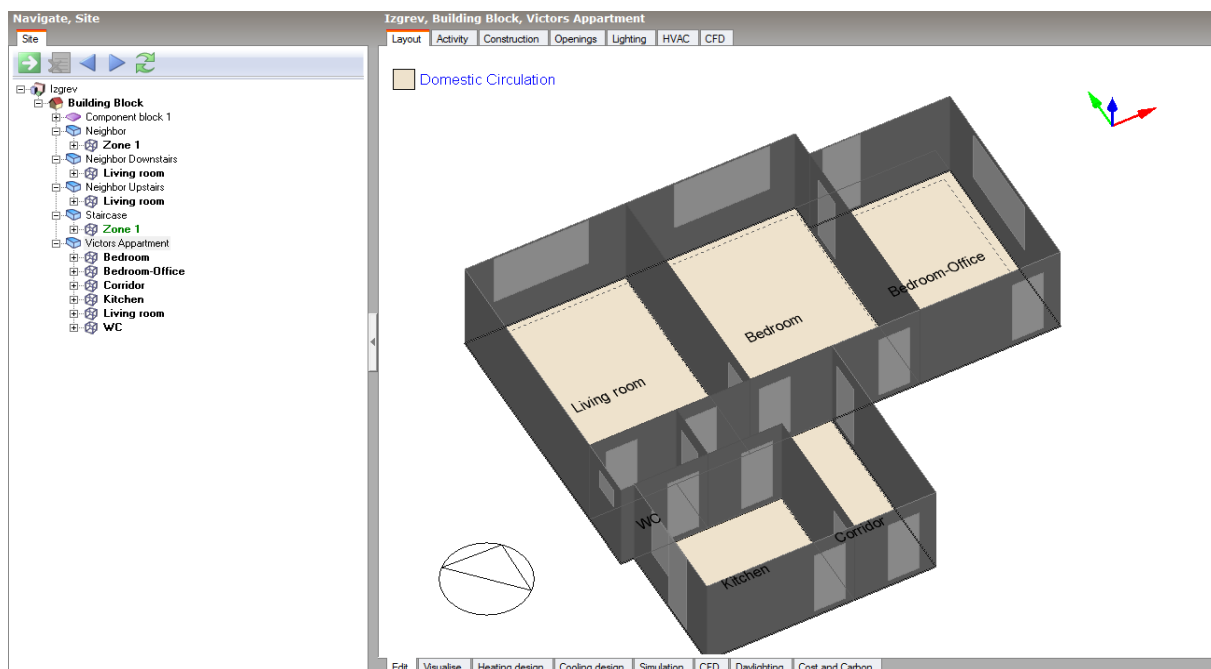
Фигура 3.5 Разпределение на помещения и сензори

Апартаментът е дигитално трансформиран преди повече от една година, така че е налице пълен едногодишен цикъл, за да се сравнят резултатите от симулацията. Самата сграда е построена и се състои от обичайна тухлена зидария като външна стена, бетонни греди и колони. Проученият апартамент няма изолация, но има PVC дограма с

двоен стъклопакет и е заобиколен от заети съседни апартаменти, които поддържат по-високи температури. Това води до много висок ефект от цифровата трансформация, като същевременно поддържа температурата си ниска, извлича топлина от съседите и умножава ефекта от цифровата трансформация.

Създава се пълен 3D модел с прилежащите вътрешни пространства (Фиг. 3.6) и пълни интериорни и екстериорни спецификации на модела са зададени, като например:

- Настройки за местоположение и въвеждане на данни за климата,
- Данните на сградата – остъкляване, външни стени, скатен/плосък покрив, външен под към въздух/земя и др. Локално засенчване, ако има и т.н.,
- Въвеждане на вътрешни данни – естествена вентилация, температурни зададени точки за отопление/охлаждане, вътрешни натоварвания, инфилтрация,
- Настройка ръчно (планирано управление на устройствата) или автоматизирано (чрез зададени точки/сензори, тристепенно управление и др.).

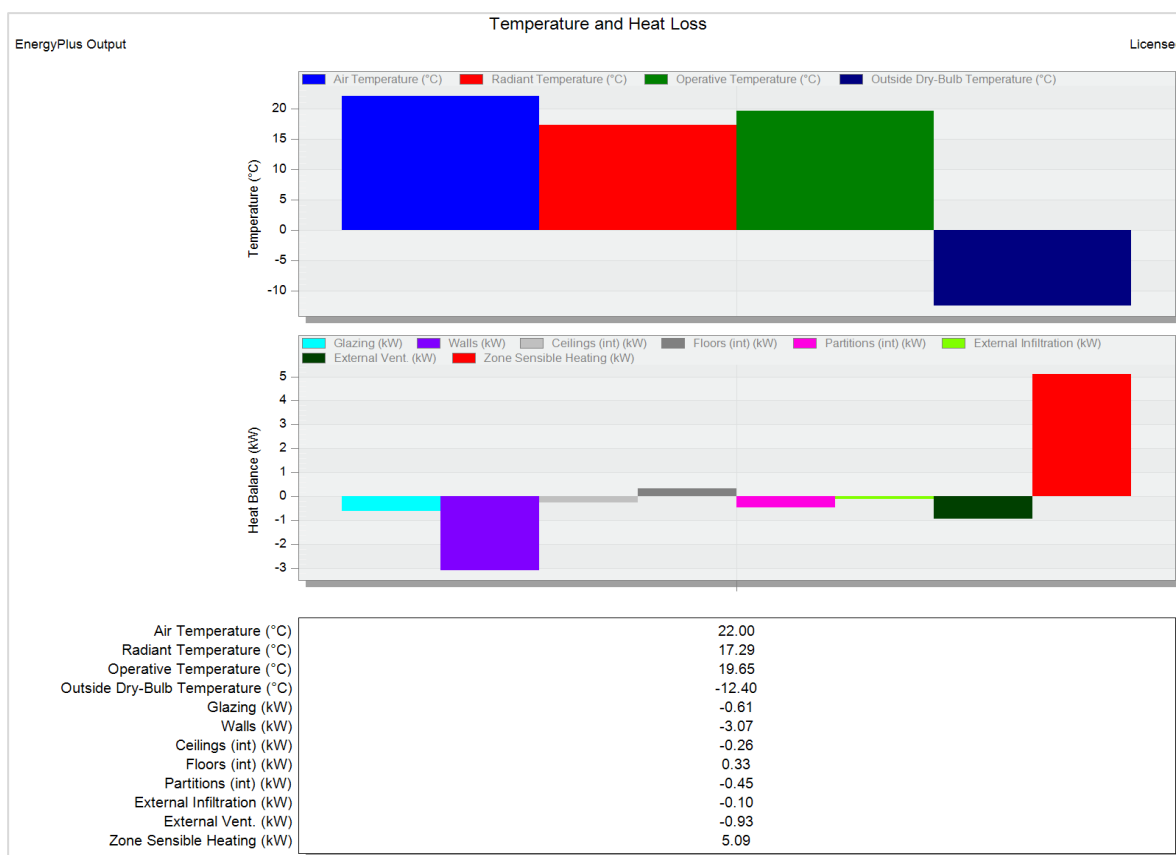


Фигура 3.6. Дигитален модел близък на изследвания единичен апартамент

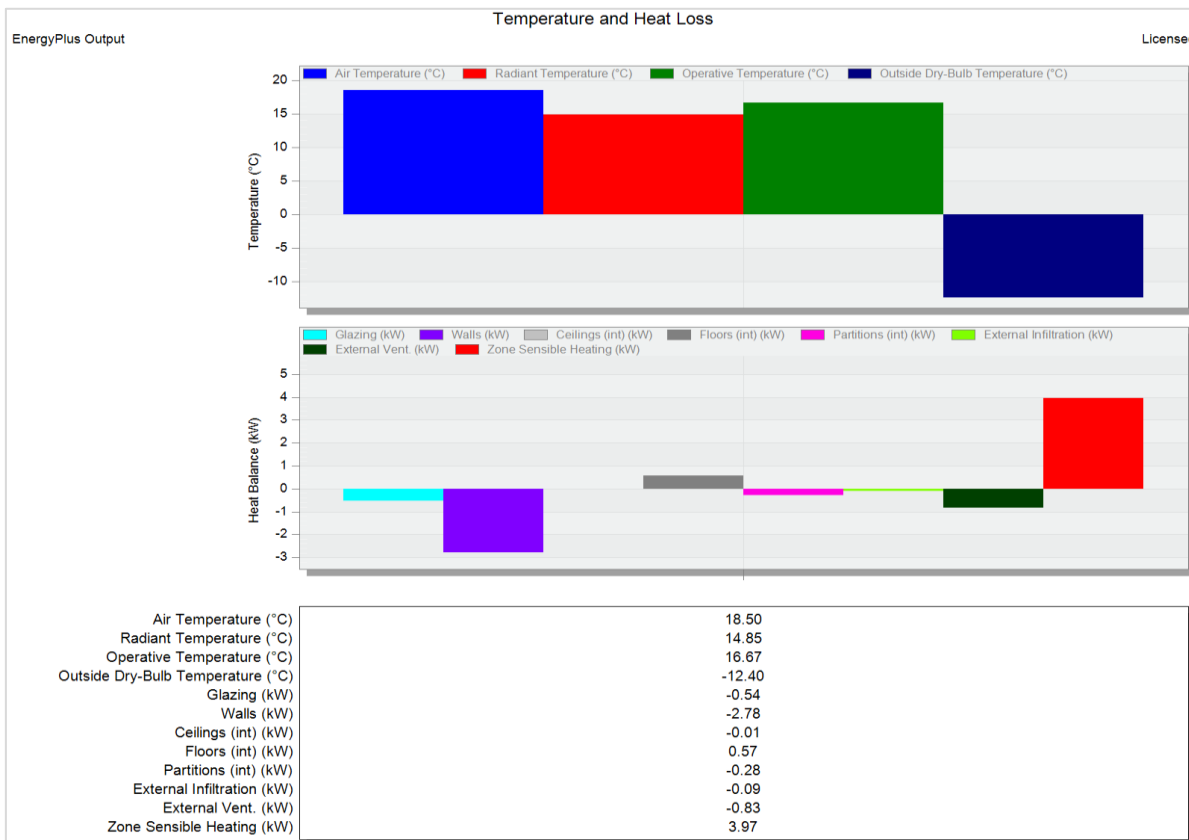
Цифровият близък на апартамента се използва за симулиране на ефекта на цифровата инфраструктура върху отоплителните товари.

3.2.2. Резултати и анализ

Отоплителният товар преди прилагането на IoT за цифрова трансформация на дома в интелигентен дом е показан на Фиг. 3.4, докато Фиг. 3.6 илюстрира топлинния товар след прилагане на IoT.

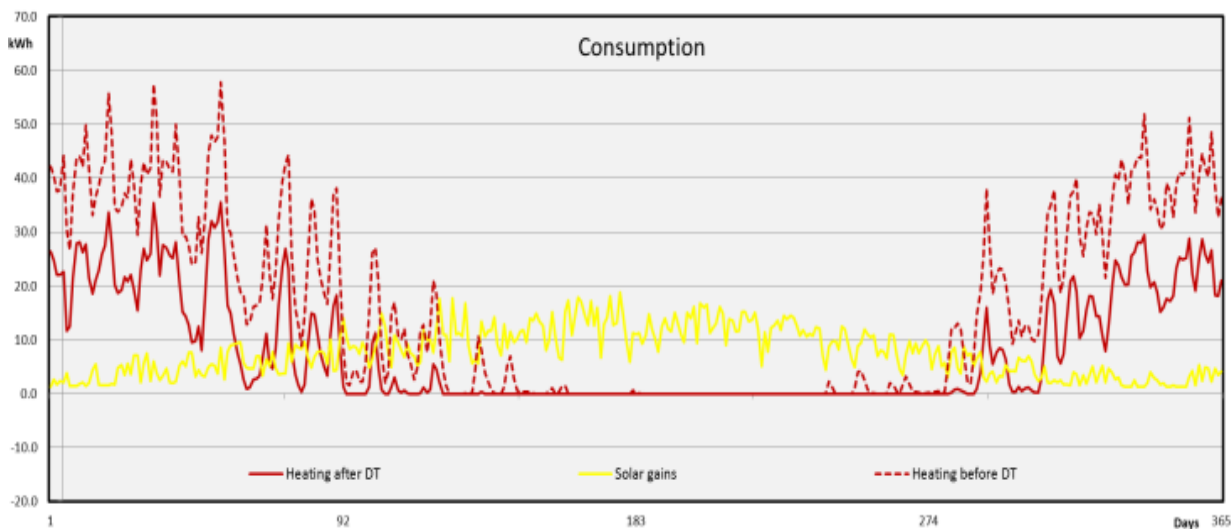


Фигура 3.7. Отоплителен товар преди прилагане на цифрова трансформация



Фигура 3.8. Отоплителен товар след прилагане на цифрова трансформация

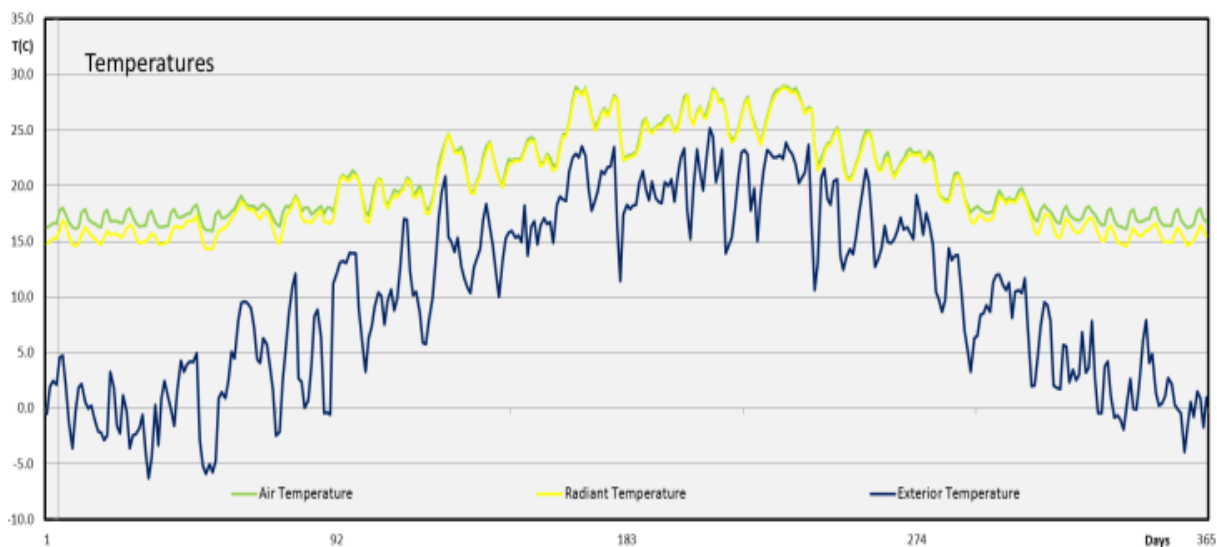
Разходът на енергия и в двата случая за едногодишен период е показан на Фиг. 3.9.



Фигура 3.9. Дневна консумация на топлинна енергия за отопление преди и след прилагане на цифрова трансформация (за 365 дни)

Както се наблюдава на графиката, пиковите и спадовете запазват подобни модели за статистически осреднена климатична година, но кривата за дигитално

трансформирания дом показва ясно по-ниски дневни нива на потребление. Освен това, външните и вътрешните температури на въздуха, включително повърхностните лъчисти температури, са показани на Фиг. 3.10.



Фигура 3.10. Средни дневни температури на въздуха, лъчиста и външна температура

Разликата между вътрешния въздух и вътрешната повърхност (или лъчиста температура) нараства през зимата поради липсата на подходяща топлоизолация на външните стени. През лятото температурата на повърхността се приближава, но почти никога не надвишава вътрешната температура на въздуха поради северната ориентация на апартамента.

Всички симулации се правят с помощта на модели EnergyPlus. Алгоритмите зад EnergyPlus са разработени специално за изграждане на енергийни симулации от Министерството на енергетиката на САЩ (Witte, 2016). Трябва да се отбележи, че моделите EnergyPlus се основават на основни принципи на топлинния баланс и разчитат на функция за пренос на проводимост. За да се постигне клетка с нулево потребление на енергия, е наблюдавана нова тестова клетка с размер на стая, като се използва подобен подход за моделиране (Lirola-Perez, et al. 2012) . Проучване на алгоритъма за решения за конструкции EnergyPlus и метода на топлинния баланс в EnergyPlus е представено в (Zhuang et al., 2010). Авторите съобщават за разлики в диапазона от до между стойностите на симулацията и тестването, което означава относително малки отклонения.12.41%0.71%

Едно важно съображение на дигиталната трансформация на апартамента е, че намаляването на зададените температури на отопление води до увеличаване на входящия топлинен поток от съседните апартаменти. За дигитално трансформирани апартаменти като този резултатите са очевидни от мониторинговата история и доказани от сметките за енергия на собственика на жилището. Ако зададената температура на отопление понижи и контролира от домашната автоматизация, апартаментът започва да "извлича" топлина от съседите си и "спестяванията" са значителни (вж. Таблица 3.1) в сравнение с предишното състояние на апартамента.

Таблица 3.1. Сравнение между общото и повърхностното потребление на отопление преди и след цифровизацията с помощта на IoT1

	Отопление преди (tkWh)	Отопление след (tkWh)	Разлика, %
Общо	5925.49	2818.64	47.56
кВтч/м ²	95.57	45.46	

Този апартамент е особено добър пример, тъй като зададената температура е допълнително намалена през нощта (най-студения период на деня) според зададената от потребителя стойност от 17 °C, а съседите са семейства с малки деца, поддържащи по-високи от обичайните температурни зададени стойности. Това води до някои удивителни резултати, като този потребител има по-ниски сметки за енергия от съседите си (частично изолирани апартаменти), въпреки че апартаментът му изобщо не е топлоизолиран. В този смисъл един важен извод е, че първите хора, които дигитално трансформират сградите си с намалена и активно контролирана температурна настройка ще се облагодетелстват повече за сметка на своите съседи.

Основното предизвикателство днес е свързано с глобалното затопляне и амбицията е преходът към нулеви въглеродни емисии. В това отношение решенията за управление на енергията, базирани на екосистемата на IoT, играят съществена роля, за да могат да бъдат използвани за пестене на енергия. Ключовият фактор в контекста на намаляването на въглеродния отпечатък е енергийната ефективност на дома. Ето защо основният проблем е фокусиран върху комбинирането на предимствата на IoT за постигане на ефективно управление на интелигентното отопление на дома.

Основните характеристики на предложената система могат да бъдат обобщени като:

- изчерпателност – системата покрива широк набор от функционалности;
- универсалност – системата позволява лесно свързване и настройка на различни смарт устройства, разработени от различни производители;
- гъвкавост – лесно за надграждане и подобряване.

3.3. Числено тестване на предложения модел за определяне компетентности по IoT базиран на групи от ключови индикатори

3.3.1. Входни данни

За да се провери приложимостта на предложения математически модел (2.3) – (2.5), описан в раздел 2.3 от Глава 2 на този дисертационен труд, за оценяване на знания на специалисти с цел идентифициране на най-образованите кандидати с възможност за работа в екип, беше проведен експеримент с група от 25 студенти. Класирането на тези студенти се извършва с помощта на 5-те твърди умения, а именно

- 1) сензори и обработка на сигнали (H-1);
- 2) софтуер: език за програмиране (H-2);
- 3) комуникационни протоколи (H-3);
- 4) извличане на данни (H-4);
- 5) вземане на решения и съставяне на алгоритми (H-5);

и 3 меки умения относно

- 1) работа в екип (s-1);
- 2) мотивация (s-2);
- 3) управление на времето (s-3).

Уменията на тези специалисти се считат за критерии за оценка в класацията. Съответните оценки за твърдите умения (e_{ih}) и меките умения (e_{is}), изразени чрез оценки по отношение на тези умения, са показани в Таблица 3.2.

Таблица 3.2. Оценка на специалисти е към техните умения

#	Твърди умения					Меки умения		
	Н-1	Н-2	Н-3	Н-4	Н-5	С-1	С-2	С-3
1	0.94	0.78	0.81	0.94	0.86	0.78	0.98	0.91
2	0.95	0.91	0.79	0.87	0.88	0.92	0.75	0.81
3	0.88	0.96	0.79	0.83	0.89	0.95	0.77	0.92
4	0.87	0.93	0.8	0.82	0.89	0.9	0.85	0.81
5	0.91	0.87	0.79	0.86	0.81	0.82	0.92	0.79
6	0.89	0.93	0.78	0.86	0.79	0.89	0.85	0.77
7	0.90	0.93	0.72	0.81	0.79	0.88	0.94	0.86
8	0.80	0.97	0.82	0.78	0.9	0.82	0.9	0.79
9	0.86	0.94	0.86	0.86	0.8	0.79	0.85	0.82
10	0.88	0.87	0.86	0.88	0.76	0.88	0.83	0.8
11	0.89	0.85	0.81	0.89	0.72	0.95	0.86	0.85
12	0.90	0.82	0.78	0.81	0.87	0.88	0.92	0.9
13	0.81	0.86	0.8	0.79	0.88	0.85	0.81	0.92
14	0.79	0.86	0.77	0.83	0.84	0.84	0.88	0.91
15	0.79	0.91	0.87	0.85	0.86	0.93	0.79	0.8
16	0.80	0.78	0.91	0.77	0.86	0.9	0.84	0.86
17	0.87	0.85	0.87	0.84	0.81	0.88	0.91	0.77
18	0.78	0.77	0.95	0.79	0.88	0.81	0.88	0.92
19	0.76	0.80	0.89	0.83	0.86	0.93	0.98	0.86
20	0.79	0.86	0.9	0.8	0.86	0.87	0.91	0.79
21	0.86	0.97	0.8	0.86	0.81	0.88	0.89	0.93
22	0.88	0.92	0.86	0.86	0.78	0.95	0.9	0.82
23	0.89	0.96	0.88	0.81	0.80	0.92	0.81	0.9
24	0.89	0.92	0.89	0.78	0.80	0.91	0.72	0.87
25	0.90	0.87	0.86	0.83	0.77	0.81	0.92	0.88

Наред с оценката за твърдите знания (e_{ih}) и меките умения (e_{is}), е необходимо да се определи и важноста между тях чрез коефициентите (α) и (β), както и стойността за коефициентите w_h и w_s . Три различни случая са идентифицирани и показани в Таблица 3.3.

Таблица 3.3. Коефициенти за твърди и меки умения и тяхното разпределение между критериите

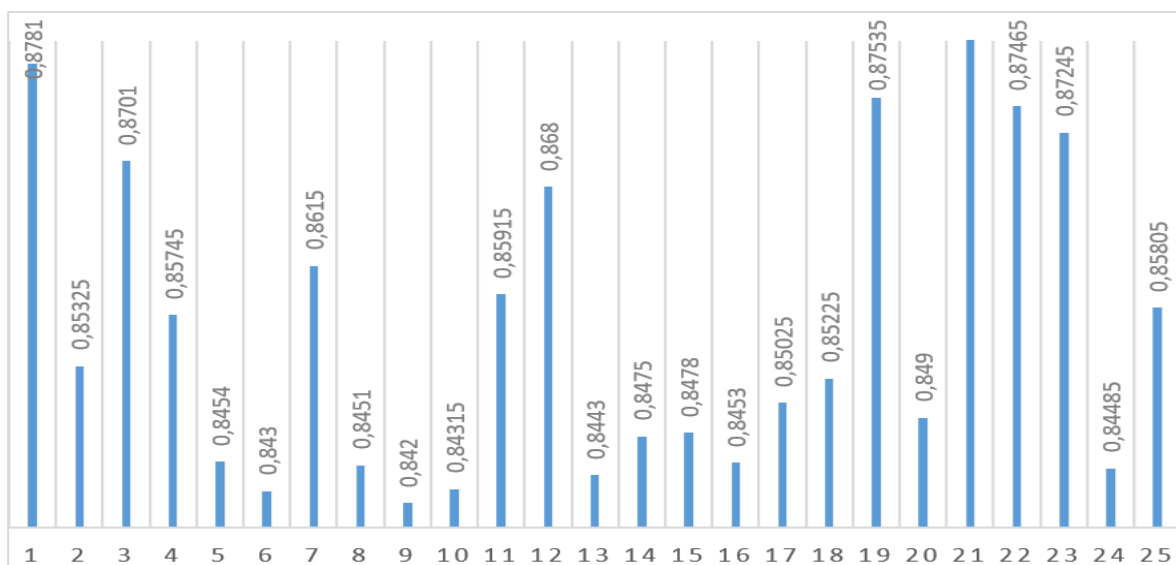
	Случай-1	Случай-2	Случай-3
Твърди умения	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.65$	$\alpha = 0.65$
H-1	0.2	0.2	0.22
H-2	0.2	0.2	0.2
H-3	0.2	0.2	0.22
H-4	0.2	0.2	0.18
H-5	0.2	0.2	0.18
Меки умения	$\beta = 0.5$	$\beta = 0.35$	$\beta = 0.35$
C-1	0.33	0.33	0.38
C-2	0.33	0.33	0.20
C-3	0.34	0.34	0.42

Случай-1 разглежда твърдите знания и меките умения с еднаква важност $\alpha = \beta = 0.5$, и разпределението между критериите, отнасящи се както до твърдите, така и до меките умения, също се приема с еднаква важност. Случай-2 изразява сценария, при който твърдите знания са преобладаващи ($\alpha = 0.65$) в сравнение с меките умения ($\beta = 0.35$), но разпределението между определени критерии остава същото. Случай-3 илюстрира ситуацията, при която твърдите умения са по-предпочитани от меките, като всеки критерий от твърдите и меките умения се разглежда с различно значение.

3.3.2. Анализ на резултатите

С помощта на предложения модел (2.3) – (2.5) и входните данни от раздел 3.3.1 се решават няколко оптимизационни задачи, за да се определи реализацията на всеки

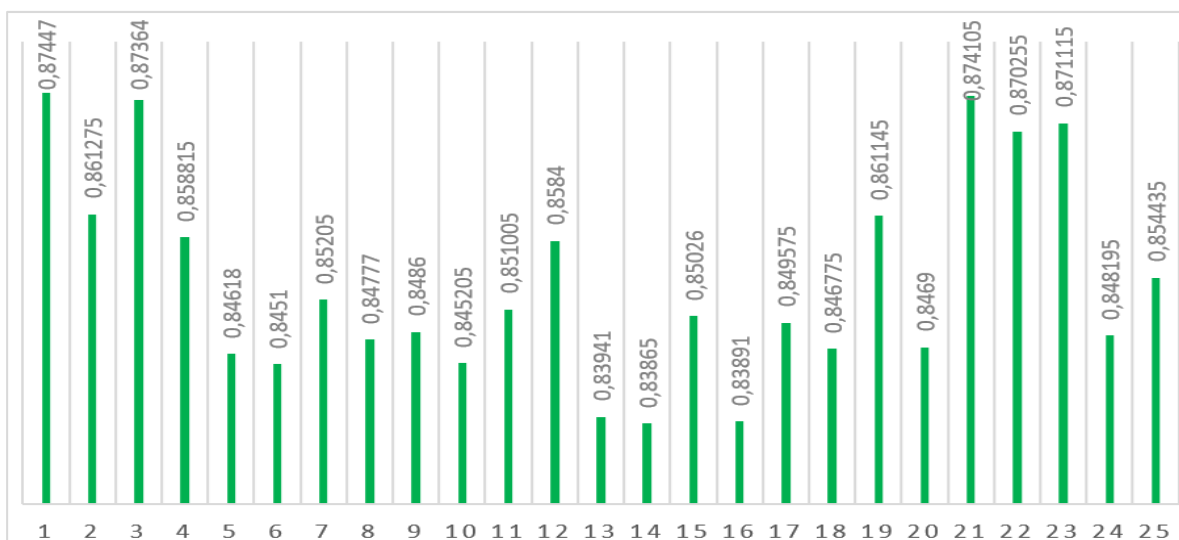
специалист. Получените резултати за класираните студенти въз основа на данните от Случай-1 са визуализирани на Фиг. 3.11.



Фигура 3.11.2 Класиране на специалистите по важност на критериите от Случай-1

От тази класация може да се види, че първите 3 места са заети от студент # 21 с общ резултат от 0,88015, следван от студент # 1 с резултат 0,8781 и студент # 19 с резултат 0,87535.

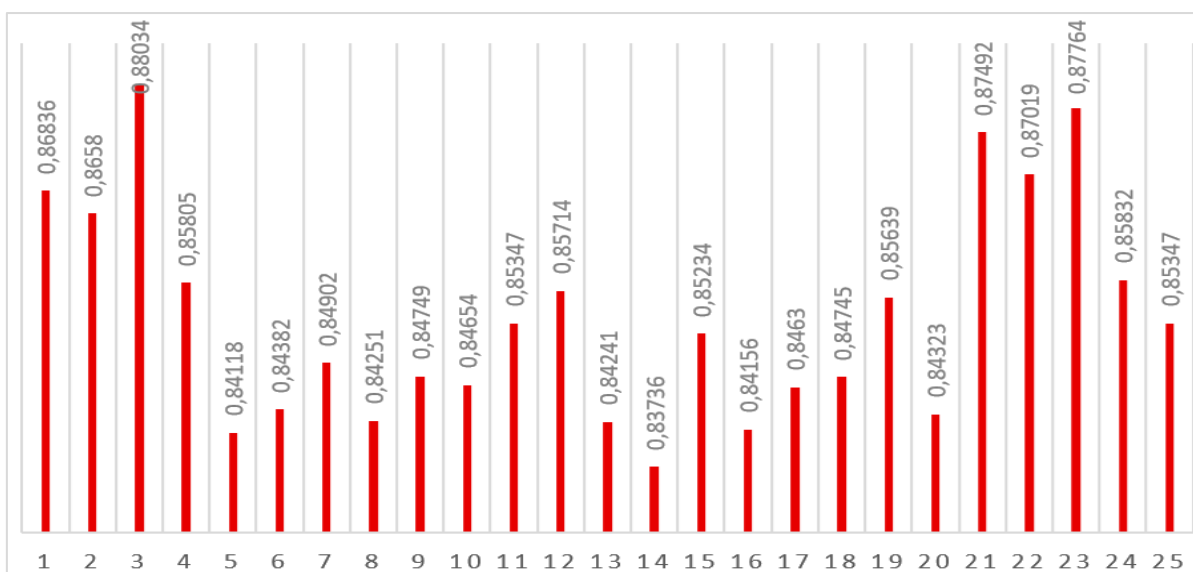
Ако стратегията се промени и се използват предпочитанията, представени в Случай-2, тогава класирането на студентите придобива различен облик, както е показано на Фиг. 3.12.



Фигура 3.12.3 Класиране на специалистите по важност на критериите от Случай-2

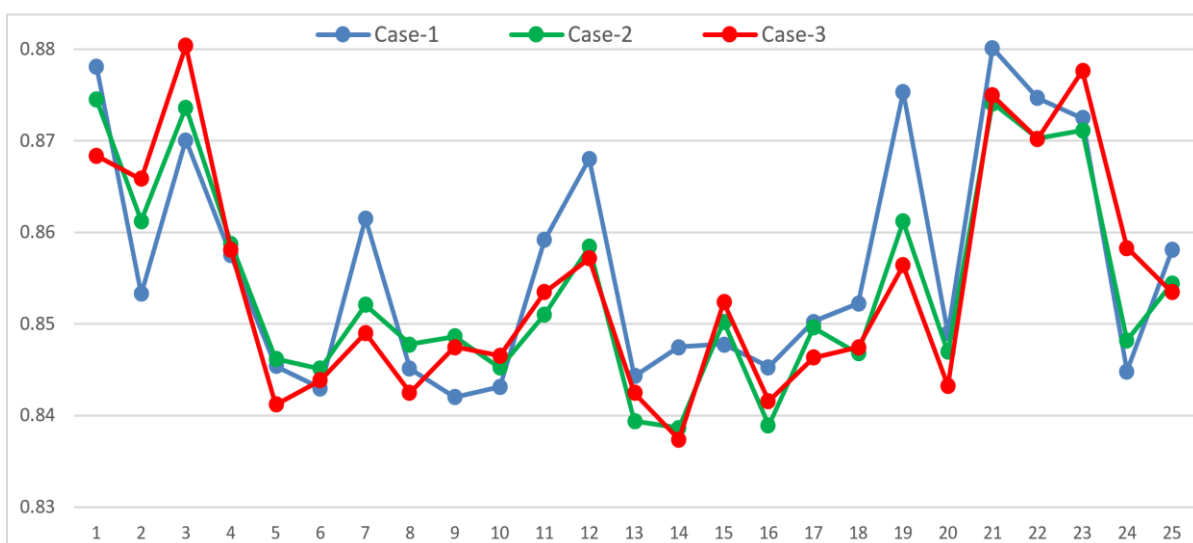
В тази класация първите 3 места са заети от студент # 1 с общ резултат от 0,87447, следван от студент # 21 с резултат 0,874015 и студент # 3 с резултат 0,87364.

Когато се използват предпочитанията, изразени чрез сценариите на случай 3, се получава следното класиране на студентите, както е показано на Фиг. 3.13. В тази класация първите най-добри 3 студенти в класацията са следните: студент # 3 с резултат 0,88034, следван от студент #23 с резултат 0,87764, и студент #21 с резултат 0,87492.



Фигура 3.13.4 Класиране на специалистите по важност на критериите от Случай-3.

Сравнението между класациите на тези студенти е показано на Фиг. 3.14.



Фигура 3.14.5 Сравнение на класирането на специалистите

В зависимост от целта на класирането е възможно да се направи подходящ списък за специалисти с повече способности за твърди умения, подходящ списък за специалистите с меки умения или някаква комбинация от твърди и меки умения. Тези списъци могат да се използват, за да се препоръча на конкретни студенти да намерят подходяща работа, според тяхното ниво на знания и адаптация към работа в екип.

Ако описанието на длъжността позволява да се работи самостоятелно или да се работи в малки екипи, меките умения могат да бъдат пренебрегнати в сравнение с твърдите умения. Обратното също е вярно, по-големият екип винаги ще изисква способности, свързани с меките умения, докато пропуснатите твърди умения могат да бъдат преодоляни чрез подходящи семинари или семинари. Като се имат предвид проблемите на IoT, има някои дейности без изискване за работа в екип като програмиране на сензори или други интелигентни устройства като цяло.

3.4 Изводи

В тази глава са описани резултатите от проведените числени експерименти с предложения модел за класиране на софтуерни платформи за домашна автоматизация с отворен код и модел за определяне компетентности по IoT, базиран на групи от ключови индикатори, както и резултати от проведените симулации и реални експерименти от проектираното интелигентно отопление в умна къща, систематизирани като:

- Числено симулиране на предложения проект на интелигентно отопление чрез софтуер за домашна автоматизация с отворен код OpenHAB,
- числено тестване на предложения модел за определяне компетентности по IoT базиран на групи от ключови индикатори.

Описаният подход реализира софтуерна платформа с отворен код като OpenHAB с евтин и високопроизводителен изчислителен хардуер като Raspberry Pi. Проведените експерименти в продължение на една година се сравняват със симулация от цифров близък на апартамент, за да се демонстрира ефектът на цифровата инфраструктура върху отоплителните товари. Получените резултати показват значително намаляване на общото и повърхностното потребление на отопление след дигитализация с използване на IoT, което възлиза на 47%.

Чрез идентифицираните ключови индикатори за измерване на представянето на студентите в IoT и тяхната способност за работа в екип във формулирания интегриран модел за измерване на представянето на студентите е показана практическата приложимост на предложения модел за класиране на студентите. Предимство на предложения подход за моделиране е възможността да се разглеждат твърди и меки умения с различно значение.

В резултат на проведените изследвания, описани в настоящия дисертационен труд могат да се формулират четири основни етапа/задачи, при реализирането на IoT приложения, както е показано на Фиг. 3.15.



Фигура 3.15.6 Основни задачи свързани с реализирането на IoT приложения

- 1) Избора на софтуерна платформа – това е първата основна задача е определяне на конкретна софтуерна платформа, която да се използва за съответната автоматизирана система. Това е важен етап, тъй като от избора ще се определят и конкретните функционалности и подходящия хардуер за реализация.
- 2) Модел на цифров близък модел. На този етап е необходимо да бъде изграден на модел на цифров близък модел, който да се използва за симулиране на желаната домашна автоматизация. На база на проведените симулации може да се установи дали симулираната система за домашна автоматизация би имала търсената ефективност или не. В случай на положително становище е необходимо да се реализират и съответните софтуерни и хардуерни решения.
- 3) Определяне на подходящи специалисти. На този трети етап е необходимо да се определят необходимите специалисти с подходящите умения, способни да реализират симулираната система за домашна автоматизация.
- 4) Практическа реализация. На този етап всичко вече е определено и е необходимо само да бъде реализиран съответния проект от определения колектив.

Съдържанието на тази глава е отразено в 3 публикации:

1. Danev, V., Kirilov, L., Nikolov, R. Creating Smart Home Environment Based on Open Source Home Automation Software. CompSysTech'21: International Conference on Computer Systems and Technologies,'21, June 2021, pp. 81-86, <https://doi.org/10.1145/3472410.3472444> **(Scopus)**
2. Borissova, D., Danev, V., Rashevski, M., Garvanov, I., Yoshinov, R., Garvanova, M.: Using IoT for Automated Heating of a Smart Home by Means of OpenHAB Software Platform, IFAC-PapersOnLine, Volume 55, Issue 11, 2022, Pages 90-95, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.08.054>.
3. Borissova, D., Danev, V., Garvanova, M., Garvanov, I., Yoshinov, R.: Key Indicators to Measure Student Performance in IoT and Their Teamwork Ability. In: Auer, M.E., Tsiatsos, T. (eds) New Realities, Mobile Systems and Applications. IMCL 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 411, pp 711–720, 2022, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96296-8_64 **(SJR=0.15)**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ – РЕЗЮМЕ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

През последните две десетилетия Интернет на нещата завоюва своето място като една от водещите тенденции в развитието на новите технологии. Основните причини за това са потенциалът му за подобряване качеството на човешкия живот и широкото му обществено приложение, което провокира еднакъв интерес сред научната и индустриалната общност. Не случайно технологията се описва като следващ етап в развитието на интернет или като нова индустриална революция. И въпреки че няма общоприета дефиниция, технология и стандарти, Интернет на нещата е свързан с осигуряването на възможност за комуникация между обекти във физическия и кибер свят чрез интернет. Интернет на нещата обикновено се основава на използването на различни сензори, многопластова архитектура и набор от комуникационни протоколи, които варират в зависимост от спецификата на системата.

Продължаващата цифровизация засяга почти всяка сфера не само на икономиката, но и на всеки дом. Това определя важността на Интернет на нещата, който има за цел да свързва физически обекти в мрежа. Това означава, че трябва да се интегрират различни технологии, включително сензори, софтуер, протоколи и специфична област на приложение. Умният дом е една от най-типичните възможности за реализация на концепцията за Интернет на нещата. Това е бързо развиващо направление, което създава предпоставки за повишен комфорт, удобство, сигурност и забавление. Съществуват обаче и предизвикателства, свързани с интелигентните домове, като цена, съвместимост и поверителност, които трябва да бъдат разгледани, за да се гарантира, че интелигентните домове се приемат и използват по отговорен и устойчив начин. Тъй като технологиите продължават да напредват, е вероятно интелигентните домове да станат често срещано решение, интегрирано в нашето ежедневие, трансформирайки начина, по който живеем, работим и взаимодействаме със света.

Цифровизацията на технологиите става все по-критична за икономическия прогрес. Това налага да се актуализират много от университетските дисциплини, за да отговорят на нуждите на такива специалисти, способни да разработват и поддържат устройства на IoT. Поради това, в настоящия дисертационен труд са предложени основни решения в областта на IoT, свързани с 1) избора на платформа за домашна

автоматизация; 2) модел на цифров близък за целите на симулиране на предложените софтуерни и хардуерни решения, както и 3) модел за определяне на подходящи специалисти, за реализиране на проекти в областта на IoT.

Изборът на платформа за домашна автоматизация е от решаващо значение, тъй като от нея зависи какви функционалности от софтуерна гледна точка ще могат да бъдат реализирани. От този избор също така и зависи и какъв хардуер ще е необходим за реализиране на конкретната домашна автоматизация и в частност автоматизация на отоплението. Като доказателство за ефективността на софтуерната системата и прилежащия хардуер за домашна автоматизация е реализирането на цифров близък, който с достатъчно добро приближение да симулира реалната ситуация. Поради това и в настоящия дисертационен труд, като следваща стъпка след избора на софтуерна платформа е реализиран цифров близък за провеждане на изследванията. Отчитайки необходимите знания и умения за реализирането на домашна автоматизация, базирана на използване на IoT и в частност автоматизация на отоплението на умнен дом, е предложен модел за оценка на ключови индикатори за измерване на знанията и уменията за работа в екип. Въз основа на предложените ключови показатели е възможно да се определят подходящите специалисти за реализиране на конкретните задачи за реализирането на конкретен проект, свързан с IoT.

Проведените числени експерименти на предложените модели и алгоритми, включително и предложения модел на цифров близък са реализирани като са използвани реални данни, чрез което се доказва и тяхната практическа приложимост. Получените резултати, описани в дисертационния труд, са отразени в общо 5 научни публикации, като 4 от тях са в издания, реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация – Web of Science и Scopus.

ПРИНОСИ

Получените резултати, описани в настоящия дисертационен труд, могат да се обобщят в следните научни и научно-приложни приноси:

1. Направен е анализ на предизвикателствата в областта на интернет на нещата и техниките, приложими при проектиране на системи за домашна автоматизация, използващи интернет на нещата.
2. Предложен многокритериален модел за вземане на решения за избор на платформа с отворен код за проектиране на умен дом.
3. Предложено е хардуерно решение както и съответна архитектура за реализиране на ефективно управление на автоматизацията на отоплението на умен дом.
4. Предложен е модел на цифров близък на апартамент, който е използван за провеждане на теоретични симулации на отоплението, отчитайки различни фактори.
5. Предложен е модел, за определяне на компетентности на специалисти по IoT на базата на две групи от ключови индикатори, отнасящи се до усвоените знания и умения за работа в екип.

НАСОКИ ЗА БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Създаването на интелигентни домове и интелигентни градове формират и съответни области на научни изследвания. Отчитайки постигнатите резултати в настоящия дисертационен труд, могат да се посочат и някои насоки за бъдещи изследвания и подобрения, свързани със следните направления:

- **Интегриране на машинно обучение и изкуствен интелект:** Включването на техники за машинно обучение и изкуствен интелект в моделите на MCDM може да подобри точността и прогнозните възможности на процесите на вземане на решения в интелигентните домове. Използвайки анализи на данни и прогнозни алгоритми, методите на MCDM могат да се учат от исторически данни, да се адаптират към променящите се условия и да предоставят по-интелигентни и персонализирани препоръки.
- **Вземане на решения в реално време:** Тъй като технологиите за интелигентен дом продължават да се развиват, има нужда от възможности за вземане на решения в реално време. MCDM техниките могат да бъдат доразвити, за да включват данни в реално време от сензори, IoT устройства и интелигентни измервателни уреди, което позволява динамични настройки и оптимизация на управлението на енергията, сигурността и автоматизацията в отговор на променящите се условия и предпочитания на потребителите.
- **Вземане на решения, съобразени с контекста:** Бъдещите подходи на MCDM могат да интегрират осведомеността за контекста в процесите на вземане на решения. Това включва разглеждане на контекстуалната информация като модели на заетост, метеорологични условия, ценообразуване за времето на използване и поведение на потребителите, за да се вземат по-информирани и специфични за контекста решения. Чрез динамично адаптиране към променящия се контекст, интелигентните домове могат да оптимизират своята производителност и енергийна ефективност.
- **Многокритериална оптимизация:** MCDM техниките могат да бъдат разширени, за да се справят с многоцелеви проблеми с оптимизацията в интелигентните домове. Вместо да се фокусира върху една цел, като например енергийна ефективност или разходи, процесът на вземане на решения може да разглежда

множество критерии едновременно, като се съобразява с различни компромиси и предпочитания. Това дава възможност на собствениците на жилища да вземат решения, които балансират противоречивите цели и постигат желаните резултати.

- **Подобрена визуализация и подпомагане на вземането на решения:** Бъдещото развитие на MCDM за интелигентни домове може да се съсредоточи върху подобряването на техниките за визуализация и инструментите за подпомагане на вземането на решения. Интерактивните табла за управление, визуализацията на данни и удобните за потребителя интерфейси могат да помогнат на собствениците на жилища да разберат процеса на вземане на решения, да проучат различни сценарии и да интерпретират резултатите. Това повишава прозрачността, ангажираността и доверието в процеса на вземане на решения.
- **Разглеждане на социалните и екологичните въздействия:** Техниките на MCDM могат да се развият, за да включат по-широк спектър от критерии, които обхващат социални и екологични въздействия. Например, моделите за вземане на решения могат да интегрират критерии, свързани със социалната справедливост, намаляването на въглеродния отпечатък или благосъстоянието на общността. Това дава възможност за по-всеобхватно и устойчиво вземане на решения в интелигентните домове, като се привежда в съответствие с по-широките обществени и екологични цели.
- **Персонализация, ориентирана към потребителя:** Бъдещите подходи на MCDM могат да се съсредоточат върху персонализираното вземане на решения в интелигентните домове. Чрез включването на потребителски предпочитания, модели на поведение и индивидуални нужди, моделите за вземане на решения могат да генерират персонализирани препоръки и да се адаптират към уникалните изисквания на всеки собственик на жилище. Този персонализиран подход повишава удовлетвореността на потребителите и гарантира, че решенията съответстват на специфичните цели и предпочитания на собствениците на жилища.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. **Danev, V.**, Kirilov, L., Nikolov, R. Creating Smart Home Environment Based on Open Source Home Automation Software. CompSysTech'21: International Conference on Computer Systems and Technologies,'21, June 2021, pp. 81-86, <https://doi.org/10.1145/3472410.3472444> (**Scopus**)
2. **Danev, V.:** The Internet of Things: Description, Applications, Development, Challenges. Problem of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 76, pp. 3-24, 2021, ISSN:2738-7356, <https://doi.org/10.7546/PECR.76.21.01>
3. Borissova, D., **Danev, V.**, Garvanov, M., Yoshinov, R., Garvanov, I.: Identification of the Important Parameters for Ranking of Open-Source Home Automation Platforms for IoT Management. In: Borzemski, L., Selvaraj, H., Świątek, J. (eds) Advances in Systems Engineering. ICSEng 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 364, pp. 310–319, 2022, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92604-5_28 (**SJR=0.15**)
4. Borissova, D., **Danev, V.**, Garvanova, M., Garvanov, I., Yoshinov, R.: Key Indicators to Measure Student Performance in IoT and Their Teamwork Ability. In: Auer, M.E., Tsiatsos, T. (eds) New Realities, Mobile Systems and Applications. IMCL 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 411, pp 711–720, 2022, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96296-8_64 (**SJR=0.15**)
5. Borissova, D., **Danev, V.**, Rashevski, M., Garvanov, I., Yoshinov, R., Garvanova, M.: Using IoT for Automated Heating of a Smart Home by Means of OpenHAB Software Platform, IFAC-PapersOnLine, Volume 55, Issue 11, 2022, Pages 90-95, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.08.054>. (**SJR=0.324**)

СПИСЪК НА ЗАБЕЛЯЗАНИ ЦИТИРАНИЯ

- **Borissova, D., Danev, V., Garvanova, M., Yoshinov, R., Garvanov, I.: Identification of the Important Parameters for Ranking of Open-Source Home Automation Platforms for IoT Management. In: Borzemski L., Selvaraj H., Świątek J. (eds) Advances in Systems Engineering. ICSEng 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 364. (2022) Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92604-5_28. SJR Q4=0.15**
 1. Mihaylov, G., Hristova, T.: Increasing the Efficiency of Irrigation Systems in the Republic of Bulgaria Through New Electrical Systems and Blockchain. In: 2022 International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES), 2022, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/CIEES55704.2022.9990681>.
 2. Mahmoud H. Elkholy, Tomonobu Senjyu, Mohammed Elsayed Lotfy, Abdelrahman Elgarhy, Nehad S. Ali and Tamer S. Gaafar. Design and Implementation of a Real-Time Smart Home Management System Considering Energy Saving. Sustainability, 2022, Vol. 14, No 21, Page 13840, DOI: 10.3390/su142113840.
- **Borissova, D. I., Danev, V. K., Rashevski, M. B., Garvanov, I. G., Yoshinov, R. D., & Garvanova, M. Z. (2022). Using IoT for Automated Heating of a Smart Home by Means of OpenHAB Software Platform. IFAC-PapersOnLine, 55(11), 90-95. 10.1016/j.ifacol.2022.08.054**
 3. Kuolimo, J., Olkkonen, A.: IoT to fight energy crisis in personal and family levels. Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT, LUT School of Engineering Science, Finland, 2022, https://www.researchgate.net/profile/Jere-Kuolimo/publication/366957513_IoT_Solutions_To_Fight_Energy_Crisis_in_Personal_and_Family_Levels/links/63bb19f803aad5368e75b6c5/IoT-Solutions-To-Fight-Energy-Crisis-in-Personal-and-Family-Levels.pdf
 4. Valerian Vanessa Tuhaise, Joseph Handibry Mbatu Tah, Fonbeyin Henry Abanda, Technologies for digital twin applications in construction, Automation in Construction, Vol. 152, 2023, 104931, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104931>.

ДЕКЛАРАЦИЯ ЗА ОРИГИНАЛНОСТ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Декларирам, че настоящата дисертация съдържа оригинални резултати, получени при проведени от мен научни изследвания с подкрепата и съдействието на научния ми ръководител. Резултатите, които са получени, описани и/или публикувани от други учени, са надлежно и подробно цитирани в библиографията.

Настоящата дисертация не е прилагана за придобиване на научна степен в друго висше училище, университет или научен институт.

Подпис:

/Виктор Кънчев Данев/

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Abad, J.G.B., Romero, D.G., Dolalas. J.M., Parocha, R.C.,and Macabebe, E.Q.B. (2022). MQTT based appliance control and automation with room occupancy monitoring using YOLO. In: Arai K. (eds) Intelligent Computing. LNNS, vol. 283, pp. 757-770, https://doi.org/10.1007/978-3-030-80119-9_48
2. Abdel-Basset, M., Manogaran, G., Mohamed, M., Rushdy, E.: Internet of things in smart education environment: supportive framework in the decision-making process. *Concurr. Comput. Pract. Exper.* 31(10) (2019). <https://doi.org/10.1002/cpe.4515>
3. Aboubakar, M., Kellilp, M., Rouxp, P.M.: A review of IoT network management: Current status and perspectives. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.03.006>.
4. Aggarwal, R., Lal Dasp, M.: RFID Security in the Context of “Internet of Things”. In: *Proceedings of the First International Conference on Security of Internet of Things*, pp. 51-56, New York, NY, USA (2012). <https://doi.org/10.1145/2490428.2490435>.
5. Ahmad, F. F., Ghenai, Ch., Bettayeb, M.: Maximum power point tracking and photovoltaic energy harvesting for Internet of Things: A comprehensive review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 47, 101430 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101430>.
6. Ahmed, M.M, Qays, M.O., Abu-Siada, A., Muyeen, S.M., and Hossain, M.L. (2021). Cost-effective design of IoT- based smart household distribution system. *Designs*, vol. 5(3), 55, <https://doi.org/10.3390/designs5030055>.
7. Al Bassam, N., Hussain, Sh. A., Al Qaraghuli, A., Khan, J., Sumesh, E.P., Lavanya, V.: IoT based wearable device to monitor the signs of quarantined remote patients of COVID-19. *Informatics in Medicine Unlocked* 24, 100588 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.imu.2021.100588>.
8. Aliero, M.S., Qureshi, K.N., Pasha, M.F., and Jeon, G. (2021). Smart home energy management systems in Internet of Things networks for green cities demands and services. *Environmental Technology & Innovation*, vol. 22, 101443, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101443>.
9. Alinezhad, A., Khalili, J. (2019). COPRAS Method. In: *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)*. International Series in Operations Research & Management Science, vol 277. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15009-9_12
10. Amorocho J., Hartmann T. (2022) A multi-criteria decision-making framework for residential building renovation using pairwise comparison and TOPSIS methods. *Journal of Building Engineering*, Volume 53, 1 August 2022, 104596 <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104596>

11. Arellanes, D., Lau, K.K.: Evaluating IoT service composition mechanisms for the scalability of IoT systems. *Future Generation Computer Systems* 108, 827-848 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.02.073>.
12. Arif, S., Khan, M.A., Rehman, S.U., Kabir, M.A., Imran, M.: Investigating smart home security: is blockchain the answer? *IEEE Access* 8, 117802–117816 (2020). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3004662>
13. Asadabadi M. R., E. Chang & M. Saberi (2019) Are MCDM methods useful? A critical review of Analytic Hierarchy Process (AHP) and Analytic Network Process (ANP), *Cogent Engineering*, 6:1, DOI: 10.1080/23311916.2019.1623153
14. Ashraf, S.: A proactive role of IoT devices in building smart cities. *Internet of Things Cyber-Phys. Syst.* 1, 8–13 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2021.08.001>
15. Atanasova, T.: Methods for processing of Heterogeneous Data in IoT based Systems. *Distributed Computer and Communication Networks, DCCN 2019, Communications in Computer and Information Science (CCIS 1141) series by Springer, 1141, Chapter 42, Springer, Cham, 2019, ISBN:978-3-030-36624-7, https://doi.org/10.1007/978-3-030-36625-4_42, 524-535.*
16. Atlam, H., Walters, R., Wills, G.: Internet of Things: State-of-the-Art, Challenges, Applications, and Open Issues. *International Journal of Intelligent Computing Research.* 9(3), 928-938 (2018).
17. Attaran, M.: The impact of 5G on the evolution of intelligent automation and industry digitization. *J. Ambient Intell. Hum. Comput.* (2021). <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02521-x>
18. Babun, L., Denney, K., Celik, Z. B., McDaniel, P., Uluagac, A.S.: A survey on IoT platforms: Communication, security, and privacy perspectives. *Computer Networks* 192, 108040 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108040>.
19. Bahashwan, A.A., Anbar, M., Abdullah, N., Al-Hadhrami, T., Hanshi, S.M.: Review on common IoT communication technologies for both long-range network (LPWAN) and short-range network. In: Saeed F., Al-Hadhrami T., Mohammed F., Mohammed E. (eds) *Advances on Smart and Soft Computing. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1188 (2021). https://doi.org/10.1007/978-981-15-6048-4_30.
20. Baig, M., Afifi, S., Hosseini, H., Mirza, F.: A Systematic Review of Wearable Sensors and IoT-Based Monitoring Applications for Older Adults - a Focus on Ageing Population and Independent Living. *Journal of Medical Systems* 43(8), 233 (2018). doi: 10.1007/s10916-019-1365-7.

21. Baker J. (2017) 6 open source home automation tools: Build a smarter home with these open source software solutions. Open Source. 14 Dec 2017. URL:<https://opensource.com/tools/home-automation>
22. Baky, I. A. (2014). Interactive TOPSIS algorithms for solving multi-level non-linear multi-objective decision-making problems. Applied Mathematical Modelling, 38, 1417–1433.10.1016/j.apm.2013.08.016
23. Balabanov, T.: Solving multi-objective problems by means of single objective solver. Probl. Eng. Cybern. Robot. 76, 63–70 (2021). <https://doi.org/10.7546/PECR.76.21.05>
24. Balakrishna, S., and Thirumaran, M. (2019). Towards an optimized semantic interoperability framework for IoT- based smart home applications. In: Balas, V., Solanki, V., Kumar, R., Khari, M. (eds) Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation. Intelligent Systems Reference Library, vol. 154, pp. 185-211, https://doi.org/10.1007/978-3-030-04203-5_9.
25. Benhamaid, S., Bouabdallah, A., and Lakhlef, H. (2022). Recent advances in energy management for green-IoT: An up-to-date and comprehensive survey. Journal of Network and Computer Applications, vol. 198, 103257, <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103257>.
26. Balan, Z., Ramiah, H., Rajendran, J., Vitee, N., Shasidharan, P. N., Yin, J., Mak, P.I., Martins, R.P.: A coin-battery-powered LDO-Free 2.4-GHz Bluetooth Low Energy/ZigBee receiver consuming 2 mA. Integration 66, 112-118 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.vlsi.2019.01.009>.
27. Bandyopadhyay D. and Sen J. (2011) Internet of Things: Applications and Challenges in Technology and Standardization. International Journal of Wireless Personal Communications. Vol. 58, No. 1, 49 – 69. Springer.
28. Beccali, M., Cellura, M., & Mistretta, M. (2003). Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. Renewable Energy, 28, 2063–2087.10.1016/S0960-1481(03)00102-2
29. Bello, O., Zeadally, Sh., Badra, M.: Network layer inter-operation of Device-to-Device communication technologies in Internet of Things (IoT). Ad Hoc Networks 57, 52-62, (2017), <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.06.010>.
30. Belton, V., Stewart, T.J.: Outranking methods. In: Belton, V., Stewart, T.J. (eds.) Multiple Criteria Decision Analysis, pp. 233–259. Springer, Boston (2002). https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1495-4_8
31. Bhat S., Bhat O.and Gokhale P. (2018) Applications of IoT and IoT: Vision 2020. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, Vol. 5, Issue 1, January 2018. DOI 10.17148/IARJSET.2018.516

31. Blagoev, I., Atanasova, T.: RNG Entropy Enrichment to Improve Cybersecurity in IoT and Cloud Services. 2022 International Scientific Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES),, 24th – 26th November, 2022, Veliko Tarnovo, Bulgaria, IEEE Xplore, 2022, <https://doi.org/10.1109/CIEES55704.2022.9990782>, 1-4
32. Borissova D. I. et al. / IFAC PapersOnLine 55-11 (2022) 90–95 95Danev, V. (2021). The Internet of Things: Description, applications, development, challenges. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 76, pp. 3-24, <https://doi.org/10.7546/PECR.76.21.01>.
33. Borissova, D., Cvetkova, P., Garvanov, I., Garvanova, M.: A Framework of Business Intelligence System for Decision Making in Efficiency Management. In: Saeed K., Dvorsky J. (eds) Computer Information Systems and Industrial Management. CISIM 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol. 12133 pp 111-121. Springer, Cham (2020). https://doi.org/10.1007/978-3-030-47679-3_10.
34. Borissova, D., Danev, V., Garvanova, M., Yoshinov, R., and Garvanov, I. (2022). Identification of the important parameters for ranking of open-source home automation platforms for IoT management. In: Borzemski, L., Selvaraj, H., Swiatek, J. (eds) Advances in Systems Engineering. ICSEng 2021. LNNS, vol. 364, pp. 310-319, https://doi.org/10.1007/978-3-030-92604-5_28.
35. Borissova, D., Dimitrova, Z., Dimitrov, V.: How to Support Teams to be Remote and Productive: Group Decision-Making for Distance Collaboration Software Tools. Information and Security. Digital Transformation, Cyber Security and Resilience 46, 36-52 (2020).
36. Borissova, D., Dimitrova, Z., Garvanova, M., Garvanov, I., Cvetkova, P., Dimitrov, V., Pandulis, A.: Two-stage decision-making approach to survey the excessive usage of smart technologies. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics 72, 3-16 (2020). <https://doi.org/10.7546/PECR.73.20.01>.
37. Borissova, D., Keremedchiev, D.: Group decision making in evaluation and ranking of students by extended simple multi-attribute rating technique. Cybern. Inf. Technol. 18(3), 45–56 (2019)
38. Borissova, D., Mustakerov, I.: A concept of intelligent e-maintenance decision making system. Innovations in Intelligent Systems and Applications, 2013 IEEE International Symposium on. 19-21 June 2013, <https://doi.org/10.1109/INISTA.2013.6577668>.
39. Borissova, D.: A group decision making model considering experts competency: an application in personnel selections. Comptes rendus de l'Academie Bulgare des Sciences 71(11), 1520– 1527 (2018)

40. Borissova, D.: An overview of multi-criteria decision making models and software systems. In: Atanassov, K.T. (ed.) *Research in Computer Science in the Bulgarian Academy of Sciences*. SCI, vol. 934, pp. 305–323. Springer, Cham (2021). https://doi.org/10.1007/978-3-030-72284-5_15
41. Boursianis, A.D., Papadopoulou, M.S., Diamantoulakis, P., Liopa-Tsakalidi, A., Barouchas, P., Salahas, G., Karagiannidis, G., Wan, Sh., Goudos, S.K.: Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. *Internet of Things*, 100187 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100187>.
42. Brans, J. P., Mareschal, B. and Vincke, P. "PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis," *Operational Research*, Vol. 3, pp. 477–490. 1984.
43. Brous, P., Janssen, M., Herder, P.: The dual effects of the Internet of Things (IoT): A systematic review of the benefits and risks of IoT adoption by organizations. *International Journal of Information Management* 51, 101952 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.008>.
44. Carlos, A.D.J., Estrada, L.R., Augusto, C.R.C., Patricia, A.C.P., Alberto, P.M.M., Enrique, R.G.R., Cesar, M.O.R., Alfredo, O.G.D., Andres, C.M.C.: Monitoring system of environmental variables for a strawberry crop using IoT tools. *Procedia Computer Science* 170, 1083-1089 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.067>.
45. Chalappuram, A., Sreesh, P.R., George, J.M.: Development of 6LoWPAN in Embedded Wireless System. *Procedia Technology* 25, 513-519 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.139>.
46. Chang, Y., and Wei, Y. (2021). Chapter 9 – The utilization of renewable energy for low-carbon buildings. Ed.: J. Ren, *Renewable-Energy-Driven Future*, pp. 289-309, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820539-6.00009-1>.
47. Chikalanov, A., Nikolov R., Vukarski I., Petkov J., Petrov Z. and Savov A. (2019) A use-case driven open reference architecture for cross-domain IoT open source component-based applications. In: (R. Andreev-Ed.) *Proceedings of the Int. Conference on Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE'2017)*. 9-26. Sofia, Bulgaria.
48. Choi, W., Kim, J., Lee, S.E., Park, E.: Smart home and internet of things: A bibliometric study. *Journal of Cleaner Production* 301, 126908 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126908>.
49. Chung, S.-H.: Applications of smart technologies in logistics and transport: a review. *Transp. Res. Part E: Logist. Transp. Rev.* 153, 102455 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102455>
50. Cisco (2014) *Attaining IoT Value: How to Move from Connecting Things to Capturing Insights*. Available from: https://www.cisco.com/c/dam/global/en_zh/solutions/trends/iot/docs/iot-data-analytics-white-paper.PDF, last accessed 2021/08/03.

51. Cisco (2014) The Internet of Things Reference Model. White Paper. Draft – Controlled Distribution. Available from: http://cdn.iotwf.com/resources/71/IoT_Reference_Model_White_Paper_June_4_2014.pdf.
52. Clement, J., Crutzen, N.: How Local Policy Priorities Set the Smart City Agenda. *Technological Forecasting and Social Change* 171, 120985 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120985>.
53. Colakovi, A., Hadžialic, M.: Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues. *Computer Networks* 144, 17-39 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.07.017>.
54. Corrente, S., Greco, S., Słowinski, R.: Multiple criteria hierarchy process with ELECTRE and PROMETHEE. *Omega* 41(5), 820–846 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.10.009>
55. Danev, V., Kirilov, L., and Nikolov, R. (2021). Creating smart home environment based on open source home automation software. In: *Int. Conference on Computer Systems and Technologies, CompSysTech'21*, pp. 81-86, <https://doi.org/10.1145/3472410.3472444>.
56. Danev, V.: The Internet of Things: description, applications, development, challenges. *Probl. Eng. Cybern. Robot.* 76, 3–24 (2021). <https://doi.org/10.7546/PECR.76.21.01>
57. Debauche, O., Mahmoudi, S., Manneback, P., Assila, A.: Fog IoT for Health: A new Architecture for Patients and Elderly Monitoring. *Procedia Computer Science* 160, 289-297 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.087>.
58. DeFeo, Ch.: Chapter 9 – Energy Harvesting and the Internet of Things. Eds: M. Dastbaz, C. Pattinson, B. Akhgar, *Green Information Technology - A Sustainable Approach*, pp. 151-160 (2015). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801379-3.00009-7>.
59. Dhanvijay, M.M., Patil, Sh.C.: Internet of Things: A survey of enabling technologies in healthcare and its applications. *Computer Networks* 153, 113-131 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.03.006>.
60. Dian, J. F., Vahidnia, R., Rahmati, A.: Wearables and the Internet of Things (IoT), applications, opportunities, and challenges: a survey. *IEEE Access* 8, 69200–69211 (2020). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2986329>
61. Diesch, R., Pfaff, M., Krcmar, H.: A comprehensive model of information security factors for decision-makers. *Comput. Secur.* 92, 101747 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.101747>
62. Dineva K., Atanasova T., Security in IoT systems, 19th Int. Multidisciplinary Sci. Geoconf. SGEM 2019, 19, 2.1, ISSN:1314-2704, <https://doi.org/10.5593/sgem2019/2.1,576-577>

63. Dineva, K., Atanasova, T., Methodology for Data Processing in Modular IoT System. Distributed Computer and Communication Networks, 22-st International Conference, DCCN 2019, Springer Nature Switzerland AG 2019. V. M. Vishnevskiy et al. (Eds.): DCCN 2019, LNCS 11965, pp. 457–468, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36614-8_35
64. Fakroon, M., Alshahrani, M., Gebali, F., Traore, I.: Secure remote anonymous user authentication scheme for smart home environment. Internet of Things 9, 100158 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100158>
65. Fatkueva, R., Evnevich, E., Yoshinov, R.: State-of-the art and trends in network security control. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics 72, 41-55 (2020). <https://doi.org/10.7546/PECR.72.20.05>.
66. Fernandex-Carames, T., Fraga-Lamas, P.: A review of human-centered IoT-connected smart labels for the Industry 4.0. IEEE Access 6, 25939-25957 (2018). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2833501>.
67. Filho, G.P.R., Villas, L.A., Gonçalves, V.P., Pessin, G., Loureiro, A.A.F., Ueyama, J.: Energy-efficient smart home systems: infrastructure and decision-making process. Internet of Things 5, 153–167 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.iot.2018.12.004>
68. Garvanov, I., Garvanova, M., Borissova, D., Vasovic, B., and Kanev, D. (2021). Towards IoT-based transport development in smart cities: Safety and security aspects. In: Shishkov, B. (eds) Business Modeling and Software Design. BMSD 2021. LNBIP, vol. 422, pp. 392-398, https://doi.org/10.1007/978-3-030-79976-2_27.
69. Glushkova T., Stoyanov S. and Popchev I. (2019) Internet of Things Platform Supporting Mobility of Disabled Learners. International Journal Bioautomation, 2019, 23(3), 353-368, DOI:10.7546/ijba.2019.23.3.000590. doi:10.7546/ijba.2019.23.3.000590
70. Gopikumar, S., Banu, J.R., Robinson, Y.H., Shanmuganathan, V., Kadry, S., Rho, S.: Novel framework of GIS based automated monitoring process on environmental biodegradability and risk analysis using Internet of Things. Environmental Research 194, 110621 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110621>.
71. Guimaraes, C.S.S., de Andrade, M., De Avila, F.R., De Oliveira Gomes, V.E., Nardelli, V.C.: IoT architecture for interoperability and monitoring of industrial nodes. Procedia Manufacturing 52, 313-318 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.11.052>.
72. Guliashki, V., Marinova, G., Groumpos, P.: Multi-objective optimization approach for energy efficiency in microgrids. IFAC-PapersOnLine 52(25), 477-482 (2019).

73. Guliashki, V.G., and Marinova, G.I. (2020). Optimization approach for improvement of energy efficiency of buildings in a microgrid. In: IEICE Information and Communication Technology Forum, https://doi.org/10.34385/proc.64.ICTF2020_paper_5.
74. Gustafson, D.H., DuBenske, L.L., Atwood, A.K., Chih, M.Y., Johnson, R.A., McTavish, F., Quanbeck, A., Brown, R.L., Cleary, J.F., Shah, D.: Reducing symptom distress in patients with advanced cancer using an e-alert system for caregivers: pooled analysis of two randomized clinical trials. *Journal of Medical Internet Research* 19(11), (2017). <https://doi.org/10.2196/jmir.7466>.
75. Hamernik P., Tanuska P. and D. Mudroncik. (2012) Classification of Functions in Smart Home. *International Journal of Information and Education Technology*, Vol. 2, No. 2, 149 – 155. April 2012.
76. Hamza, A.A., Abdel-Halim, I.T., Sobh, M.A., Bahaa-Eldin, A.M.: A survey and taxonomy of program analysis for IoT platforms. *Ain Shams Eng. J.* (2021). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.03.026>
77. Han, S., Capraro, R.M., Capraro, M.M.: How science, technology, engineering, and mathematics project based learning affects high-need students in the U.S. *Learn. Individ. Differ.* 51, 157–166 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.08.045>
78. Hassani, H., Gringoli, F., Leith, D.J.: Quick & plenty: Achieving low delay & high rate in 802.11ac edge networks. *Computer Networks* 187, 107820 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.107820>.
79. Hofer-Schmitz, K., Stojanovic, B.: Towards formal verification of IoT protocols: A review. *Computer Networks* 174, 107233 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107233>.
80. Huang, Ch.H., Chen, P.J., Lin, Y.J., Chen, B.W., Zheng, J.X.: A robot-based intelligent management design for agricultural cyber-physical systems. *Computers and Electronics in Agriculture* 181, 105967 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105967>.
81. Huifeng, W., Kadry, S.N., Raj, E.D.: Continuous health monitoring of sportsperson using IoT devices based wearable technology. *Comput. Commun.* 160, 588–595 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.04.025>
82. Idmayanti R., Meidelfi D., Rahmayuni I., Sukma F., Ramadhani, The Implementation of the Simple Multi Attribute Rating Technique Method for Evaluating the Guidance Process for the Final Project of the Applied Software Engineering Technology Students, *International Journal of Advanced Science Computing and Engineering*, Vol. 3, No. 3, December 2021, pp. 153-160, ISSN 2714-7533

83. Idoje, G., Dagiuklas, T., Iqbal, M.: Survey for smart farming technologies: Challenges and issues. *Comput. Electr. Eng.* 92, 107104 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107104>
84. International Telecommunication Union. (2012) Overview of the Internet of Things. Next Generation Networks. Telecommunication Standardization Sector of ITU. Available from: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I>, last accessed 2021/08/03.
85. Jacoby, M., Antonic, A., Kreiner, K., Lapacz, R., and Pielorz, J. (2017). Semantic interoperability as key to IoT platform federation. In: LNCS 10218: Interoperability and Open-Source for the Internet of Things, pp. 3-19.
86. Jafari, R., Razvarz, S., Gegov, A., Vatchova, B.: A survey on applications of neuro-fuzzy models. In: 2020 IEEE 10th International Conference on Intelligent Systems, pp. 148–152 (2020). <https://doi.org/10.1109/IS48319.2020.9200185>
87. Javadi, M.S., Nezhad, A.E., Nardelli, P.H.J., Gough, M., Lotfi, M., Santos, S., and Catalao, J.P.S. (2021). Self-scheduling model for home energy management systems considering the end-users discomfort index within price-based demand response programs. *Sustainable Cities and Society*, vol. 68, 102792, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102792>.
88. Joensuu, T., Leino, R., Heinonen, J., and Saari, A. (2022). Developing buildings' life cycle assessment in circular economy-comparing methods for assessing carbon footprint of reusable components. *Sustainable Cities and Society*, vol. 77, 103499, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103499>.
89. K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal and T. Meyarivan, (2002) "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II," in *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 6, no. 2, pp. 182-197, doi: 10.1109/4235.996017.
90. Kadziński, M. (2022). Robust Ordinal Regression for Multiple Criteria Decision Aiding. In: Greco, S., Mousseau, V., Stefanowski, J., Zopounidis, C. (eds) *Intelligent Decision Support Systems . Multiple Criteria Decision Making*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96318-7_10
91. Karale, A.: The challenges of IoT addressing security, ethics, privacy, and laws. *Internet of Things* 15, 100420 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100420>.
92. Katasonov, A., Kaykova, O., Khriyenko, O., Nikitin, S., and Terziyan, V.Y. (2008). Smart semantic middleware for the internet of things. *ICINCO-ICSO*, 8, pp. 169-178.
93. Keeney, R.L., Raiffa, H.: *Decisions with multiple objectives—preferences and value tradeoffs*, Cambridge University Press, Cambridge & New York, 1993, 569 pages, ISBN 0-521-44185-4

94. Kim, K., Cho, K., Lim, J., Jung, Y.H., Sung, M.S., Kim, S.B., Kim, H.K.: What's your protocol: Vulnerabilities and security threats related to Z-Wave protocol. *Pervasive and Mobile Computing* 66, 101211 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2020.101211>.
95. Kirchev, L., Blyantov, M., Georgiev, V., Boyanov, K.: A communication model supporting process migration in grid. In: Proc. EXPGRID workshop on large-scale distributed systems of the 15th international symposium on High-Performance Distributed Computing (HPDC'06), pp. 31-39, Paris, France (2006).
96. Korsemov, D., Borissova, D.: Modifications of simple additive weighting and weighted product models for group decision making. *Adv. Model. Optim.* 20(1), 101–112 (2018)
97. Kosmatos, E., Tselikas, N., Boucouvalas, A.: Integrating RFIDs and smart objects into a unified Internet of things architecture. *Advances in Internet of Things* 1(1), 5-12 (2011), <http://dx.doi.org/10.4236/ait.2011.11002>.
98. Krasteva, R., Boneva, A., Georchev, V., Stoianov, I.: Application of wireless protocols Bluetooth and ZigBee. in telemetry system development. *Problems of Engineering Cybernetics and Robotics* 55, 30-38 (2005).
99. Kuang, J., Li, L.: ZigBee-based architecture design of imperceptible smart home system. In: Liu Q., Liu X., Li L., Zhou H., Zhao HH. (eds) Proc. of the 9th Int. Conference on Computer Engineering and Networks. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1143, pp. 1003-1011. Springer, Singapore (2020), https://doi.org/10.1007/978-981-15-3753-0_100.
100. Kumar S. and Raza Z. (2017) Internet of Things: Possibilities and Challenges. *International Journal of Systems and Service-Oriented Engineering*. vol.7, No 3. <https://doi.org/10.4018/IJSSOE.2017070103>
101. Kumar, S., Tiwari, P. and Zymbler, M. (2019). Internet of things is a revolutionary approach for future technology enhancement: A review. *Journal of Big Data*, vol. 6, 111, <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0268-2>.
102. Li B, and Yu J. (2011) Research and application on the smart home based on component technologies and Internet of Things. *Procedia Engineering*. Vol.15, 2087–2092
103. Li, Ch., Boshnakov, K., and Fan, L. (2016). Voltage control of microbial fuel cells for wastewater treatment. *Science, Engineering & Education*, vol. 1(1), pp. 43-52. Li, L. (2021). Integrating climate change impact in new building design process: A review of building life cycle carbon emission assessment methodologies. *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 5, 100286, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100286>.

104. Liao, B., Ali, Y., Nazir, S., He, L., Khan, H.U.: Security analysis of IoT devices by using mobile computing: A systematic literature review. *IEEE Access* 8, 120331-120350 (2020), <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3006358>.
105. Lin, Y.-N., Wang, S.-K., Yang, C.-Y., Shen, V.R.L., Juang, T.T.-Y., Hung, W.-H.: Development and verification of a smart remote control system for home appliances. *Comput. Electr. Eng.* 88, 106889 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106889>
106. Lirola-Perez, J., Lauret-Aguirregabiria, B., Khayet, M., Rashevski, M., Claros-Marfil, J., Perez-Pujazon, B., and Ovando-Vacarezza, G. (2014). Energy consumption and thermal behavior of a light construction room-sized test cell. In: Llinares-Millan, C. et al. (eds) *Construction and Building Research*, pp. 193-200, https://doi.org/10.1007/978-94-007-7790-3_25
107. Liu, S., Yang, Y., Forrest, J.YL. (2022). Grey Relational Analysis Models. In: *Grey Systems Analysis. Series on Grey System*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6160-1_5
108. Liu, Y., Li, M., Chen, Y. et al. (2020). Evaluation of and improvement planning for smart homes using rough knowledge-based rules on a hybrid multiple attribute decision-making model. *Soft Comput* 24, 7781–7800 <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04396-3>
109. Lobaccaro, G., Carlucci, S., Lofstrom, E.: A review of systems and technologies for smart homes and smart grids. *Energies* 9(5), 348 (2016). <https://doi.org/10.3390/en9050348>
110. Lyu, W., Liu, J.: Soft skills, hard skills: What matters most? Evidence from job postings. *Appl. Energy* 300, 117307 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117307>
111. Ma L., Li Z. and Zheng M. (2019) A Research on IoT Based Smart Home. 11th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA). Qiqihar, China, 2019, 120-122, doi:10.1109/ICMTMA.2019.00033
112. Madakam, S., Ramaswamy, R., Tripathi, S.: Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications* 3(5). Article ID: 56616 (2015). <http://dx.doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>.
113. Marcenaro-Gutierrez, O.D., Lopez-Agudo, L.A., Henriques, C.O.: Are soft skills conditioned by conflicting factors? A multiobjective programming approach to explore the trade-offs. *Econ. Anal. Pol.* 72, 18–40 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.eap.2021.07.008>
114. Mardani, A.; Zavadskas, E.K.; Govindan, K.; Amat Senin, A.; Jusoh, A. VIKOR Technique: A Systematic Review of the State of the Art Literature on Methodologies and Applications. *Sustainability* 2016, 8, 37. <https://doi.org/10.3390/su8010037>

115. Margherita, E.G., Braccini, A.M.: Managing industry 4.0 automation for fair ethical business development: A single case study. *Technological Forecasting and Social Change* 172, 121048 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121048>.
116. Marinova, G.: Overview on FPGA design implementations for autonomous cars. In: *Proc. of the 7th International Conference Computer Science and Communication Engineering & Information Systems and Security*, pp. 41–50. UBT, Pristina, Kosovo (2018).
117. Marques, P., Manfroij, D., Deitos, E., Cegoni, J., Castilhos, R., Rochol, J., Pignaton, E., Kunst, R.: An IoT-based smart cities infrastructure architecture applied to a waste management scenario. *Ad Hoc Networks* 87, 200-208 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2018.12.009>.
118. Mateeva, G., Parvanov, D., Balabanov, T.: Differential evolution and particle swarm optimization efficiency according to pseudo-random number generator quality. *Probl. Eng. Cybern. Robot.* 76, 63–70 (2021). <https://doi.org/10.7546/PECR.76.21.05>
119. Mesmoudi, Y., Lamnaour, M., El Khamlichi, Y., Tahiri, A., Touhafi, A., Braeken, A.: A middleware based on service oriented architecture for heterogeneity issues within the Internet of things (MSOAH-IoT). *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences* 32(10), 1108-1116 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.11.011>.
120. Mohanta, B.K., Jena, D., Ramasubbareddy, S., Daneshmand, M., Gandomi, A.H.: Addressing security and privacy issues of IoT using blockchain technology. *IEEE Internet of Things Journal* 8(2), 881-888, (2021), <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3008906>.
121. Montandon, J.E., Politowski, C., Silva, L.L., Valente, M.T., Petrillo, F., Gueheneuc, Y.-G.: What skills do IT companies look for in new developers? A study with Stack Overflow jobs. *Inf. Softw. Technol.* 129, 106429 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106429>
122. Moysiadis, V., Sarigiannidis, P., Vitsas, V., Khelifi, A.: Smart farming in Europe. *Computer Science Review* 39, 100345 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100345>.
123. Mustakerov, I., Borissova, D.: A conceptual approach for development of educational Web-based e-testing system. *Expert Syst. Appl.* 38(11), 14060–14064 (2011). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.214>
124. Mustakerov, I., Borissova, D.: An intelligent approach for optimum maintenance strategy defining. *Innovations in Intelligent Systems and Applications, 2013 IEEE International Symposium on*. 19-21 June 2013, <https://doi.org/10.1109/INISTA.2013.6577666>.
125. Naka, E., Guliashki, V.: Optimization techniques in data management: a survey. In: *7th International Conference on Computing and Data Engineering*, pp. 8–13 (2021). <https://doi.org/10.1145/3456172.3456214>

126. Nikayin F. and De Reuver M. (2013) Opening Up the Smart Home: A Classification of Smart Living Service Platforms. *International Journal of E-Services and Mobile Applications*, Vol, 5, No 2, 37-53.
127. OpenHAB. Available online: <https://www.openhab.org/> (accessed on 11 February 2022).
128. Pattar, S., Buyya, R., Venugopal, K.R., Iyengar, S.S., Patnaik, L. M.: Searching for the IoT resources: Fundamentals, requirements, comprehensive review and future directions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 20(3), 2101-2132 (2018). <https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2825231>.
129. Peytchev E., Lyaskov M., Popovski K. and Spasov G. (2016) Home Energy Monitoring System based on Open Source Software and Hardware. *CompSysTech '16: Proc. of the 17th International Conference on Computer Systems and Technologies*. 145–150. <https://doi.org/10.1145/2983468.2983504>
130. Queralta, J.P., Gia, T.N., Zou, Z., Tenhunen, H., Westerlund, T.: Comparative study of LPWAN technologies on unlicensed bands for M2M communication in the IoT: Beyond LoRa and LoRaWAN. *Procedia Computer Science* 155, 343-350 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.049>.
131. Raju, L., Sowmya, G., Srividhya, S., Surabhi, S., Retika, M.K., and Reshmika Janani, M. (2021). IoT-based home automation using Raspberry Pi. In: Seyezhai, R., Karuppuchamy, S., Ashok Kumar, L. (eds) *Recent Trends in Renewable Energy Sources and Power Conversion*, pp. 155-161, https://doi.org/10.1007/978-981-16-0669-4_12.
132. Ramlowat, D.D., Pattanayak, B.K.: Exploring the Internet of Things (IoT) in education: a review. In: Satapathy, S.C., Bhateja, V., Somanah, R., Yang, X.-S., Senkerik, R. (eds.) *Information Systems Design and Intelligent Applications*. AISC, vol. 863, pp. 245–255. Springer, Singapore (2019). https://doi.org/10.1007/978-981-13-3338-5_23
133. Rana, M., Mamun, Q., and Islam, R. (2022). Lightweight cryptography in IoT networks: A survey. *Future Generation Computer Systems*, vol. 129, pp. 77-89, <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.11.011>.
134. Rao, R. V. (2007). Introduction to Multiple Attribute Decision-making (MADM) Methods. In: *Decision Making in the Manufacturing Environment*. Springer Series in Advanced Manufacturing. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-819-7_3
135. Rao, R. Venkata. *Decision Making in the Manufacturing Environment, Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods*. (2007) Springer Series in Advanced Manufacturing (SSAM)

136. Rashevski, M., Nikolov, R., Danev V. (2019) Smart Home as a Service: Towards Smart and Energy Efficient Homes, LAP LAMBERT Academic Publishing ISBN: 978-6200003072
137. Ray, A.K., Bagwari, A.: IoT based Smart home: security aspects and security architecture. In: 2020 IEEE 9th International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT), pp. 218–222 (2020). <https://doi.org/10.1109/CSNT48778.2020.9115737>
138. Ray, T., Triantaphyllou, E. Procedures for the evaluation of conflicts in rankings of alternatives. *Computers & Industrial Engineering*, 1999, 36(1), 35-44, [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(98\)00110-7](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(98)00110-7)
139. Ricquebourg V., Menga D., Durand D., Marhic B., Delahoche L. and Logé Ch. (2007) The Smart Home Concept: our immediate future. *IEEE Xplore*, DOI: 10.1109/ICELIE.2006.347206.
140. Ruiz-Zafra, A., Benghazi, K., and Noguera, M. (2022). IFC+: Towards the integration of IoT into early stages of building design. *Automation in Construction*, vol. 136, 104129, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104129>.
141. Rus S., Helfmann St., Kirchbuchner F. and Kuijper A. (2020) Designing smart home controls for elderly. *PETRA '20: Proceedings of the 13th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. Pages 1–10. <https://doi.org/10.1145/3389189.3392610>
142. Saaty, T.L.: How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Eur. J. Oper. Res.* 48(1), 9–26 (1990)
143. Santhosh, N., Srinivsan, M., Ragupathy, K.: Internet of Things (IoT) in smart manufacturing. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 764, 012025 (2020). Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/764/1/012025>.
144. Schlichter, B.R., Buchynska, T.: Soft skills of delivery managers in a co-sourced software project. *Procedia Comput. Sci.* 181, 905–912 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.246>
145. Shah, A.S., Nasir, H., Fayaz, M., Lajis, A., Shah, A.: A review on energy consumption optimization techniques in IoT based smart building environments. *Information* 10(3), 108 (2019). <https://doi.org/10.3390/info10030108>.
146. Sharabov, M., Tsochev, G.: The use of artificial intelligence in Industry 4.0. *Problems of Engineering Cybernetics and Robotics* 72, 17-29 (2020). <https://doi.org/10.7546/PECR.73.20.02>.
147. Shukla S., Mohanty B.K., Kumar A. A Multi Attribute Value Theory approach to rank association rules for leveraging better business decision making. *Procedia Computer Science*, Volume 122, 2017, Pages 1031-1038, ISSN 1877-0509

148. Sikimic, M., Amovic, M., Vujovic, V., Suknovic, B., Manjak, D.: An overview of wireless technologies for IoT network. In: 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), pp. 1-6, (2020), <https://doi.org/10.1109/INFOTEH48170.2020.9066337>.
149. Simo, A., Dzitac, S., Dzitac, I., Frigura-Iliasa, M., Frigura-Iliasa, F.M.: Air quality assessment system based on self-driven drone and LoRaWAN network. *Computer Communications* 175, 13-24 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2021.04.032>.
150. Singh, D., Dahiya, M., Kumar, R., Nanda, Ch.: Sensors and systems for air quality assessment monitoring and management: A review. *Journal of Environmental Management* 289, 112510 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112510>
151. Sokullu, R., Akkas, M.A., Demir, E.: IoT supported smart home for the elderly. *Internet of Things* 11, 100239 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100239>.
152. Stojkoska B. L. and Trivodaliev K. V. (2017) A review of internet of things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1454–1464. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.006>
153. Stolojescu-Crisan, C.; Crisan, C.; Butunoi, B.-P. An IoT-Based Smart Home Automation System. *Sensors* 2021, 21, 3784. <https://doi.org/10.3390/s21113784>An IoT-based smart home automation system. *Sensors*, vol. 21, 3784, <https://doi.org/10.3390/s21113784>.
154. Suresh, P., Daniel, J.V., Parthasarathy, V., Aswathy, R.H.: A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment. In: Proc. of International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR), pp. 1-8, Chennai, India (2014). <https://doi.org/10.1109/ICSEMR.2014.7043637>.
155. Taherdoost, H. Analysis of Simple Additive Weighting Method (SAW) as a MultiAttribute Decision-Making Technique: A Step-by-Step Guide. *Journal of Management Science & Engineering Research*, 2023, 6(1), 21–24. <https://doi.org/10.30564/jmser.v6i1.5400>
156. Talavera, J.M., Tobon, L.E., Gomez, J.A., Culman, M.A., Aranda, J.M., Parra, D.T., Quiroz, L.A., Hoyos, A., Garreta, L.E.: Review of IoT applications in agroindustrial and environmental fields. *Computers and Electronics in Agriculture* 142(A), 283-297 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.015>.
157. Taylor, T.: 6 Most Commonly Used IoT Communication Protocols. TechGenis, (2019). Available from: <http://techgenix.com/iot-communication-protocols/>, last accessed 2021/08/03.
158. Terroso-Saenz, F., Gonzalez-Vidal, A., Ramallo-Gonzalez, A.P., Skarmeta, A.F.: An open IoT platform for the management and analysis of energy data. *Futur. Gener. Comput. Syst.* 92, 1066–1079 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.08.046>

159. Thakkar, J.J. (2021). Simple Additive Weightage (SAW). In: Multi-Criteria Decision Making. Studies in Systems, Decision and Control, vol 336. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4745-8_2
160. Tianxing, M., Yoshinov, R., Osipov, V., Zhukova, N., Schukina, M., Evnevich, E.: Problems of human secure interaction with the internet space. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics 75, 15-34 (2021). <https://doi.org/10.7546/PECR.75.21.03>.
161. Todtenberg, N., Kraemer, R.L A survey on Bluetooth multi-hop networks. Ad Hoc Networks 93, 101922 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2019.101922>.
162. Tournier, J., Lesueur, F., Le Mouel, F., Guyon, L., Ben-Hassine, H.: A survey of IoT protocols and their security issues through the lens of a generic IoT stack. Internet of Things, 100264 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100264>.
163. Trevathan, J., Schmidtke, S., Read, W., Sharp, T., Sattar, A.: An IoT general-purpose sensor board for enabling remote aquatic environmental monitoring. Internet of Things 16, 100429 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100429>.
164. Triantaphyllou, E., Shu, B., Nieto Sanchez, S., Ray, T.: Multi-criteria decision making: an operations research approach. In: Webster, J.G. (ed.) Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, vol. 15, pp. 175–186. Wiley, New York (1998)
165. Tsochev, G.R., Yoshinov, R.D., Iliev, O.P.: Key Problems of the critical information infrastructure through Scada Systems Research. SPIIRAS Proceedings 18(6), 1333-1356 (2019). <https://doi.org/10.15622/sp.2019.18.6.1333-1356>.
166. Uwiringiyimana, M.M., Nandagopal, G., Guan, Y., Vinkovic, S., Kolsch, J., and Heinz, C. (2021). IoT platforms. In: Zivkovic, C., Guan, Y., Grimm, C. (eds) IoT Platforms, Use Cases, Privacy, and Business Models, pp. 21-49, https://doi.org/10.1007/978-3-030-45316-9_2.
167. Vahdat-Nejad, H., Abbasi-Moud, Z., Eslami, S.A., Mansoor, W.: Survey on Context-Aware Healthcare Systems. 2021 IEEE 11th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), pp. 1190-1196, NV, USA (2021). <https://doi.org/10.1109/CCWC51732.2021.9376138>.
168. Vodyaho, A., Yoshinov, R., Zhukova, N., Thaw, A.M., Ahmed, A.S.: Fog oriented model for data collection in the networks of mobile devices. In: Proc. of IEEE 10th Int. Conf. on Intelligent Systems, pp. 421-425, Varna, Bulgaria (2020). <https://doi.org/10.1109/IS48319.2020.9200138>.
169. Wang, D., Zhong, D., and Souri, A. (2021). Energy management solutions in the Internet of things applications: Technical analysis and new research directions. Cognitive Systems Research, vol. 67, pp. 33- 49, <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2020.12.009>.

170. Wątróbski J., Jankowski J., Ziemia P., Karczmarczyk A., Ziolo M., (2019) Generalised framework for multi-criteria method selection, *Omega*, Volume 86, July 2019, Pages 107-124, <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.07.004>
171. Witte, M.J., (2016). EnergyPlus Development Report, 2016 Building Technologies Office Peer Review. Zhou, B., Li, W., Chan, K.W., Cao, Y., Kuang, Y., Liu, X., and X. Wang. (2016). Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 61, pp. 30-40, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.047>.
172. Yang H., Lee W. and Lee Hw. (2018) IoT Smart Home Adoption: The Importance of Proper Level Automation. *Journal of Sensors*. 11 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/6464036>
173. Yao, X., Farha, F., Li, R., Psychoula, I., Chen, L., Ning, H.: Security and privacy issues of physical objects in the IoT: Challenges and opportunities. *Digital Communications and Networks*, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2020.09.001>.
174. Yugha, R., Chithra, S.: A survey on technologies and security protocols: Reference for future generation IoT. *Journal of Network and Computer Applications* 169, 102763 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102763>.
175. Zheng G., Jing Y., Huang H., Gao Y. (2010) Application of improved grey relational projection method to evaluate sustainable building envelope performance, *Applied Energy*, Volume 87, Issue 2, Pages 710-720, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.08.020>
176. Zhuang, C., Deng, A., Chen, Y., Li, S., Zhang, H., and Fan, G. (2010). Validation of veracity on simulating the indoor temperature in PCM light weight building by EnergyPlus. In: Li, K., Fei, M., Jia, L., Irwin, G.W. (eds) *Life System Modeling and Intelligent Computing*. ICSEE 2010, LSMS 2010. LNCS, vol. 6328, pp. 486-496, https://doi.org/10.1007/978-3-642-15621-2_53
177. Zionts, St. MCDM: If Not a Roman Numeral, then What? *Interfaces*, Vol. 9, No. 4, (1979), pp. 94-101 *INFORMS*, <https://www.jstor.org/stable/25059779>