



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ



Институт по информационни и комуникационни технологии

Виктор Кънчев Данев

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

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

НА 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

Дисертационният труд е обсъден и допуснат до защита на разширено заседание на секция „Моделиране и Оптимизация“ при ИИКТ-БАН, състояло се на 14.09.2023 г.

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. Дисертационният труд е в общ обем от 123 страници, 30 фигури и 16 таблици, 126 цитирани литературни източника.

Защитата на дисертацията ще се състои на2023 г.
от часа в зала на блок 2 на ИИКТ-БАН
на открито заседание на научно жури в състав:

Научно жури

1. проф. д.н. Иван Ганчев Гарванов - УниБИТ
2. проф. д-р Георги Петров Димитров - УниБИТ
3. доц. д-р Александър Иванов Шикаланов - УниБИТ
4. проф. д-р Васил Георгиев Гуляшки - ИИКТ - БАН
5. доц. д-р Нина Христова Добринкова - ИИКТ - БАН

Рецензиите и становищата на членовете на научното жури и авторефератът са публикувани на сайта на ИИКТ-БАН.

Материалите за защитата са на разположение на интересувашите се в стая 315 на ИИКТ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 2.

Автор: Виктор Кънчев Данев

Заглавие: Проектиране на “Умни къщи” под отворена система OpenHAB

УВОД

Бързото развитие на ИКТ (информационни и комуникационни технологии) е предпоставка за навлизането на нови технологии. ИКТ и IoT (Internet of Things, или Интернет на нещата) са тясно свързани и допълващи се области. Някои от аспектите на връзката между ИКТ и IoT са Интеграция: ИКТ предоставя инфраструктурата, която позволява на устройствата в IoT да се свързват и комуникират помежду си и с други системи. Обработка на данни: ИКТ предоставя платформите за обработка, анализ и съхранение на големи обеми от данни, генерирани от IoT устройствата. Безопасност: ИКТ предоставя решенията за сигурност, които защитават данните и комуникациите в IoT мрежите. 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. IoT е бързо развиваща се технология, която трансформира начина, по който живеем, работим и взаимодействаме със света. Съществуват обаче и значителни предизвикателства и рискове, които трябва да бъдат разгледани, за да се гарантира, че IoT се приема и използва по отговорен и устойчив начин.

Умните къщи 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. Умната къща е свързана мрежа от устройства, които работят заедно, за да осигурят безпроблемно, интуитивно и удобно жизнено изживяване. Умните къщи също могат да бъдат енергийно ефективни, тъй като могат автоматично да регулират осветлението, отоплението и охлаждането и други уреди. Това не само спестява енергия и намалява разходите, но също така помага за намаляване на въглеродния отпечатък и защита на околната среда. Проектирането на умни къщи ("smart homes") налага интеграцията на различни технологии и системи, за да се създаде комфортна, ефективна и автоматизирана среда на живот.

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.

СТРУКТУРА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

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 предложението 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 характеристиките 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 предложението математическия многокритериален модел за оценка и класация на необходими 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).

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).

Изследователски направления

Най-общо две изследователски направления могат да бъдат определени, а именно: Стандартизация, и Сигурност и поверителност

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. Сред областите на приложение на IoT са: Здравеопазване; Мониторинг на околната среда; Интелигентно земеделие; Свързана индустрия; Автономни автомобили; Умни градове и умни домове; Интелигентни енергоспестяващи и интелигентни електроенергийни мрежи; Носими устройства; и др.

Предизвикателства

Предизвикателствата пред IoT са свързани с: Големи данни; Предоставяне на мрежа; Хетерогенност; Оперативна съвместимост; Мащабируемост; Сигурност и поверителност; Поддръжка.

Интелигентен дом

Разновидностите на приложенията за интелигентен дом са илюстрирани на Фиг. 1.5.



Фигура 1.5. Приложения за интелигентен дом

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

Софтуер за управление на IoT хардуерните устройства

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. 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 софтуерас отворен код трябва да се вземат предвид допълнителни разходи за хардуер итехническа 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.

Платформи за домашна автоматизация с отворен код

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.

Системи за домашна автоматизация с отворен код

Съществуват няколко системи за домашна автоматизация с отворен код, които предлагат гъвкавост и възможности за персонализация.

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 създаванена 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 стандартнипротоколи	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

1.3 Вземане на решения по множество критерии (MCDM)

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.

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.

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. Противоречивикритерии възникват, когато различни критерии или цели не могат да бъдат оптимизирани едновременно и трябва да се направят компромиси.

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.

Концепцията за недоминирани решения в MCDM

Недоминираните решения представляват набор от алтернативи, които не са доминирани от друга алтернатива по отношение на множество критерии

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. Едни от най-известните техники на

многокритериалния анализ са *Методът на Аналитичен йерархичен процес* и *Метод на претеглената сума*.

1.4 Изводи

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

- ключовите предимства на IoT са в автоматизирането на различни процеси в домовете, както и в събиране и анализиране на големи количества данни;
- необходимо е да се отчитат предизвикателства, свързани с умните домове по отношение на цената за инсталиране и поддръжка, съвместимостта, и поверителността и сигурността.
- 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 на дисертационния труд

От направения анализ на съществуващите технологии, софтуерни подходи и предизвикателства при проектиране на интелигентния дом, се формулира и следната цел на дисертационния 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.

ГЛАВА 2. МОДЕЛИРАНЕ И ПРОЕКТИРАНЕ НА УМНИ КЪЩИ ЧРЕЗ ПОДХОД ЗАВЗЕМАНЕ 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 умен дом

Проектирането и внедряването на умни 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). MCDM включва структуриране на сложни проблеми и изрично разглеждане на множество критерии, което може да доведе до по-информирани и по-добри решения.

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 (Lin et al., 2020). Сигурността на дома и енергийната ефективност са двата важни фактора, подкрепящи концепцията за умен 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 умния 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 умнен, 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. Трябва да се 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.

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

За класиране на платформите с отворен код са използвани основни параметри, 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.

Избрани са следните критерии: Инсталация; Гъвкавост и UI; Общността на потребителите; Темпо на разработка; Интеграция; Протоколи; Език за програмиране

Алтернативите при вземане на решение за избор са следните платформи: Open HAB; Home Assistant; Domoticz; Calaos; OpenMotics; HomeGenie; PiDome; Pytotation; OpenRemote

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
Pytotation	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

Всички тези оценки са силно субективни, особено по отношение на езичите 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.

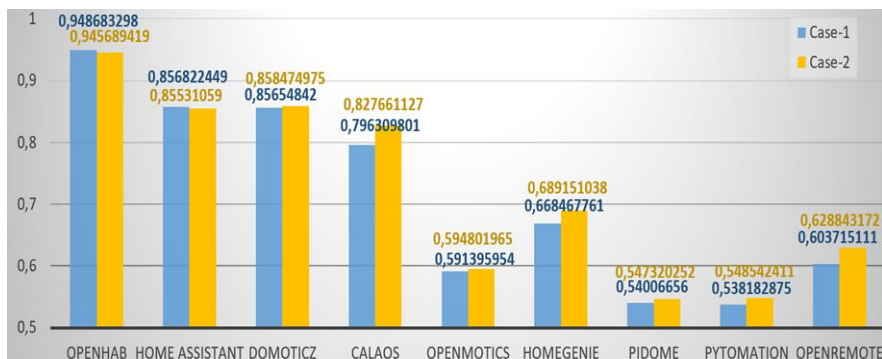
Таблица 2.2. Коефициенти за значимост на критериите за оценка

	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.

2.2.2. Анализ на резултатите

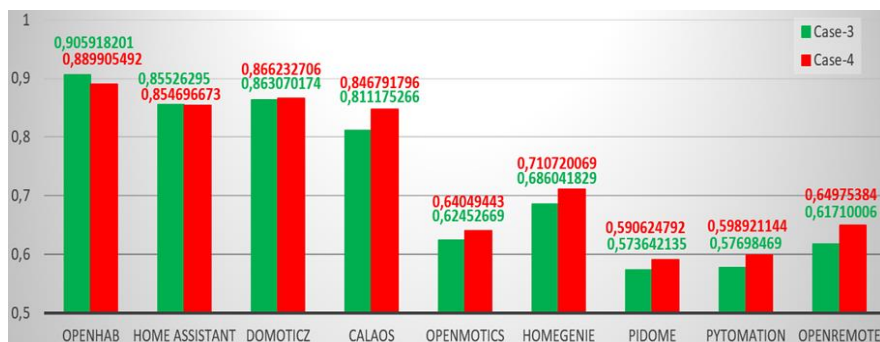
Получените резултати за класирането на платформите за домашна автоматизация с отворен код за управление на IoT се основават на входните данни, дадени от Таблица 2.1, Таблица 2.2 с помощта на модела (2.1) – (2.2). Класираните платформи според Case- 1 и Case-2, които не отчитат параметъра език за програмиране,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



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

Определените резултати за параметрите на OpenHAB водят до по-доброто му класиране сред останалите платформи. Въпреки малките разлики в класирането,

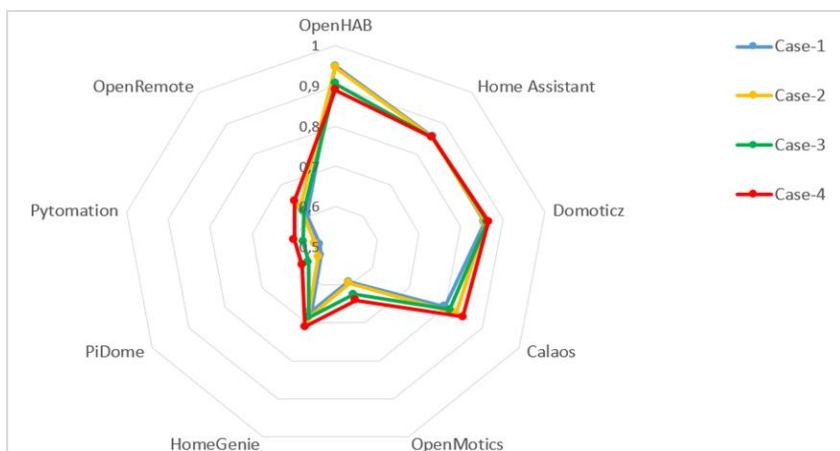
заслужава да се отбележи влиянието на използваните коефициенти върхуважността на критериите. Например, само OpenHAB, Home Assistant и Domoticz имат по-добри резултати, ако всички критерии се разглеждат с еднаква важност, с изключение на езика за програмиране (Case-1) в сравнение с Case-2, където предпочитанията 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 и 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.

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.



Фигура 2.3. Сравнение между различните класации

2.3. Модел за определяне на компетентности по IoT

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. 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.

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. 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

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 на сензори или за визуализиране и анализ на данните от обработката на сигнали.

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 е 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.

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 специалистите по 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 предложения математически модел за оценка на постиженията на специалистите (2.3)-(2.6), формулиран по следния начин:

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

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

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

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

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. Този диапазон за оценките трябва да съответства на обхвата на други променливи на предложения модел (2.3) – (2.6). 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.

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.

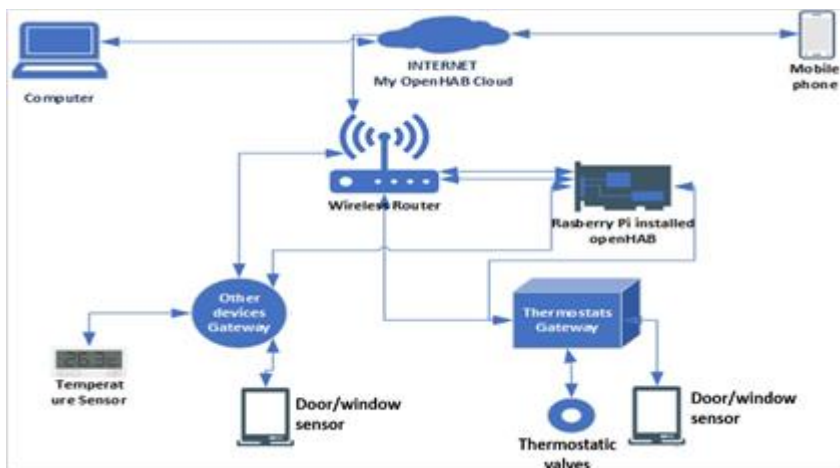
Едно от възможните хардуерни решения е Raspberry Pi, който е едноплаткова, евтина и високопроизводителна изчислителна техника. Сред софтуерните платформи с отворен код за домашна автоматизация, базирани на IoT, OpenHAB може да бъде идеалният избор, както е показано в раздел 2.2 на този дисертационен труд.

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

Хардуерните компоненти, използвани за внедряване на IoT, могат да варират от платкис ниска мощност или едноплаткови процесори като Arduino Uno (Ahmed et al., 2021). Напоследък най-популярната платформа за IoT е Raspberry Pi, защото това е много достъпен малък компютър, който може да включва цял уеб сървър (Raju et al., 2021; Данев, и др., 2021).

Системна архитектура на отоплението на умнен дом

За да се даде възможност за управление на енергийната ефективност в интелигентен дом е необходимо да бъде в състояние да контролира температурата. Възможно решение за управление на енергийната ефективност в умнен дом с помощта на подобни сензори е показано на Фиг. 3.2.



Фигура 3.2 Интелигентна домашна архитектура за автоматизация на отоплението

Платформата OpenHAB е избрана в раздел 2.2 съгласно приложенияте MCDM техники. Физическите устройства и контролери (IoT) на интелигентната домашна среда сеизбира най-вече от Xiaomi и MAX!.

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. 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.

Правила за конфигуриране на софтуера за отоплението на умен дом

```
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.

CLOSED_OPEN

АКО <sensor_status_open_window> променени от ЗАТВОРЕН на ОПЕН,

ТОГАВА променлива = <valves_name_setpoint_temperature> &
<valves_name_setpoint_temperature> = MIN

OPEN_CLOSED

АКО <sensor_status_open_window> променен от ОПЕН на CLOSED

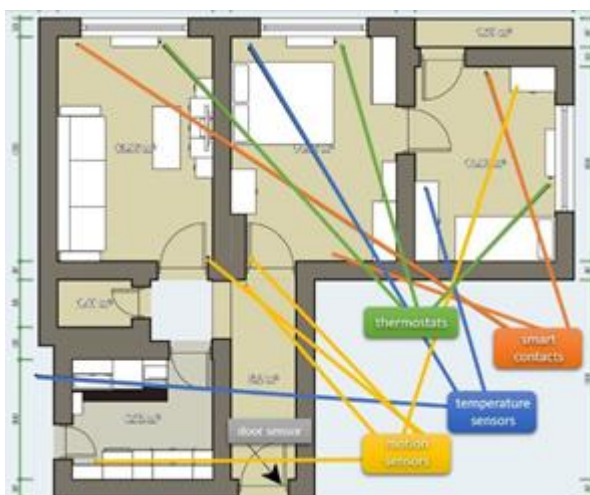
ТОГАВА <valves_name_setpoint_temperature> = променлива

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.

Входни данни

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

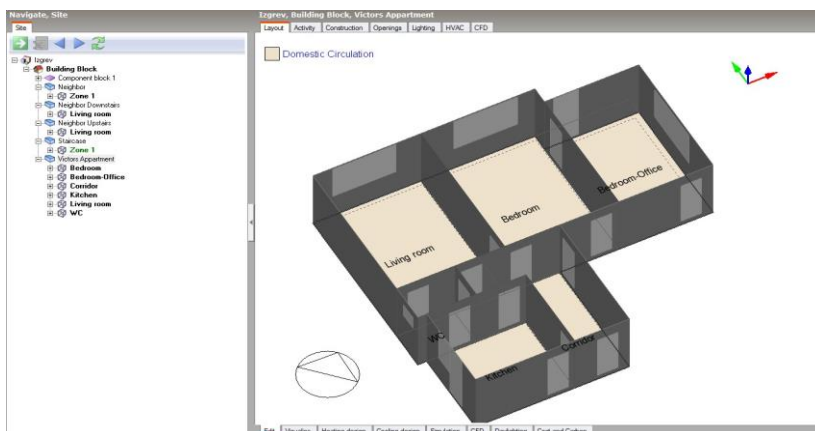


Фигура 3.5 Разпределение на помещения и сензори

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 или автоматизирано (чрез зададени точки/сензори, тристепенно управление и др.).

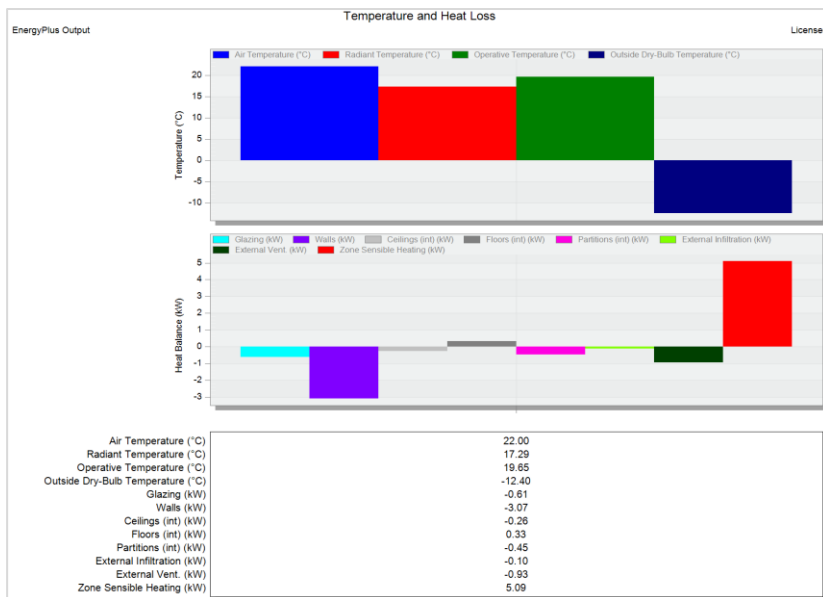
Цифровият близък на апартамента се използва за симулиране на ефекта на цифровата инфраструктура върху отоплителните товари.



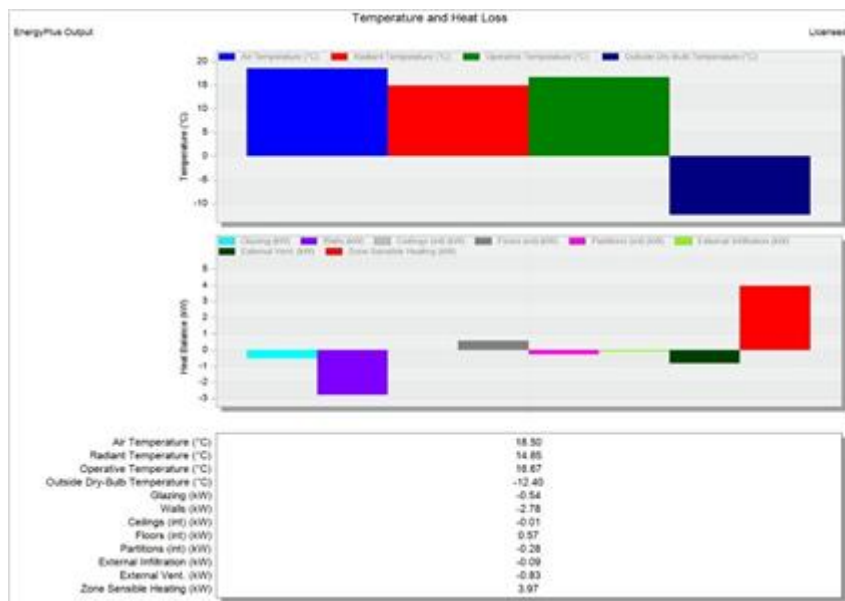
Фигура 3.6. Дигитален модел близък на изследвания единичен апартамент

Резултати и анализ

Отопителният товар преди прилагането на IoT за цифрова трансформация на дома в интелигентен дом е показан на Фиг. 3.7, докато Фиг. 3.68 илюстрира топлинния товар след прилагане на IoT.

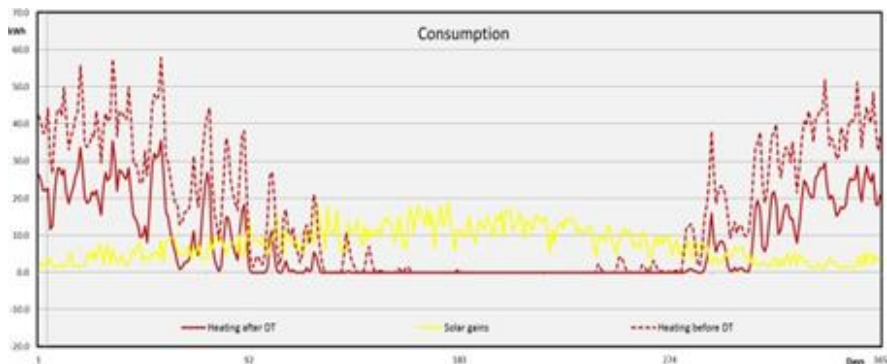


Фигура 3.7. Отоплителен товар преди прилагане на цифрова трансформация



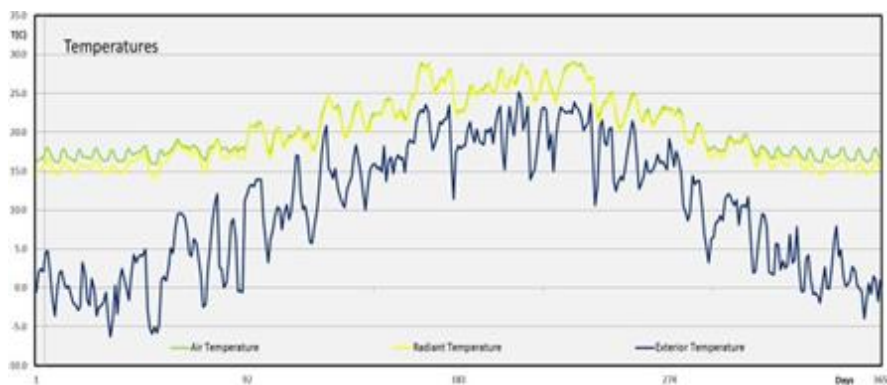
Фигура 3.8. Отоплителен товар след прилагане на цифрова трансформация

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

Всички симулации се правят с помощта на модели EnergyPlus. Трябва да се отбележи, че моделите EnergyPlus се основават на основни принципи на топлинния

баланс и разчитат на функция за пренос на проводимост. Едно важно съображение на дигиталната трансформация на апартаента е, че намаляването на зададените температури на отопление води до увеличаване на входящия топлинен поток от съседните апартаменти. Ако зададената температура на отопление се понижи и контролира от домашната автоматизация, апартаментът започва да "извлича" топлинаот съседите си и "спестяванията" са значителни (вж. Таблица 3.1) в сравнение с предишното състояние на апартаента.

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	

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 предложениния модел за определяне компетентности по IoT базиран на групи от ключови индикатори

За да се провери приложимостта на предложениния 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 специалисти. Класирането натези специалисти се извършва с помощта на 5-те твърди умения, а именно: сензори и обработка на сигнали (H-1); софтуер: език за програмиране (H-2); комуникационни протоколи (H-3); извличане на данни (H-4); 5) вземане на решения и съставяне на алгоритми (H-5); и 3 меки умения относно; работа в екип (s-1); мотивация (s-2); управление на времето (s-3).

Уменията на тези специалисти се считат за критерии за оценка в класацията. Съответните оценки за твърдите знания (eih) и меките умения (eis), изразени чрез оценки по отношение на тези умения, са показани в Таблица 3.2.

Таблица 3.2. Оценка на специалисти е към техните умения

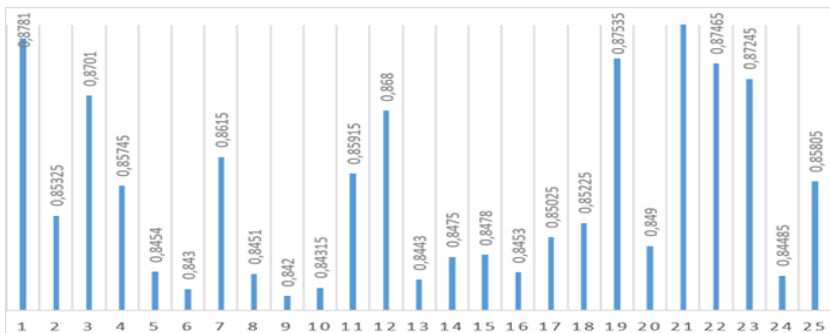
#	Твърди умения					Меки умения		
	Н-1	Н-2	Н-3	Н-4	Н-5	С-1	С-2	С-3
1	0.94	0.78	0.81	0.94	0.86	0.78	0.98	0.91
2	0.95	0.91	0.79	0.87	0.88	0.92	0.75	0.81
3	0.88	0.96	0.79	0.83	0.89	0.95	0.77	0.92
4	0.87	0.93	0.8	0.82	0.89	0.9	0.85	0.81
5	0.91	0.87	0.79	0.86	0.81	0.82	0.92	0.79
6	0.89	0.93	0.78	0.86	0.79	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 оценките за твърдите знания (eih) и меките умения (eis), е необходимо да се определи и важноста между тях чрез коефициентите (α) и (β), както и стойността за коефициентите wh и ws . 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

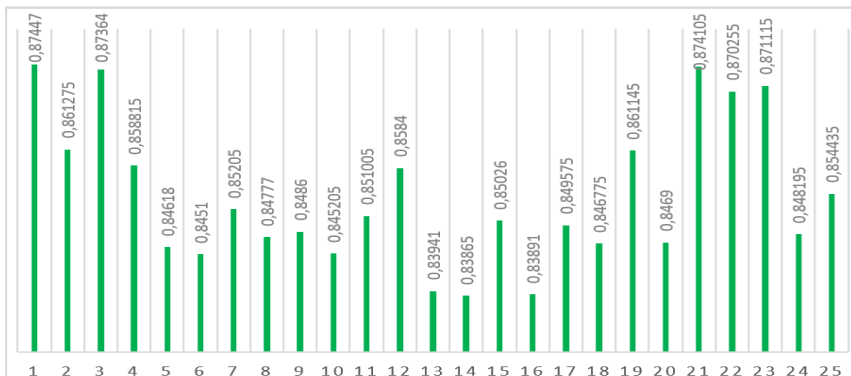
	Случай-1	Случай-2	Случай-3
Твърди умения	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.65$	$\alpha = 0.65$
Н-1	0.2	0.2	0.22
Н-2	0.2	0.2	0.2
Н-3	0.2	0.2	0.22
Н-4	0.2	0.2	0.18
Н-5	0.2	0.2	0.18
Меки умения	$\beta = 0.5$	$\beta = 0.35$	$\beta = 0.35$
С-1	0.33	0.33	0.38
С-2	0.33	0.33	0.20
С-3	0.34	0.34	0.42

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



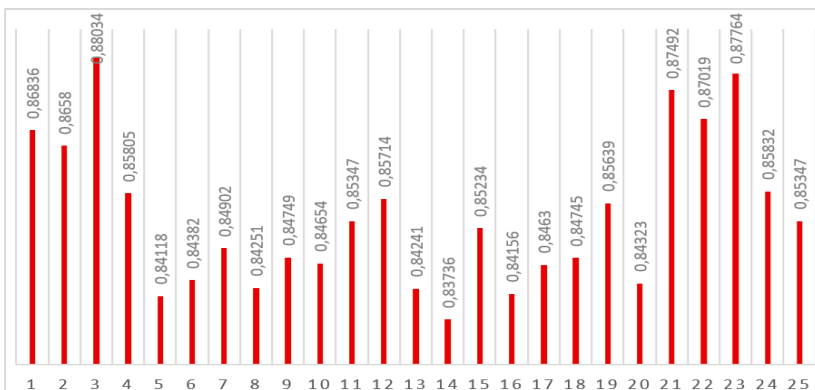
Фигура 3.11. Класиране на специалистите по важност на критериите от Случай-1

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



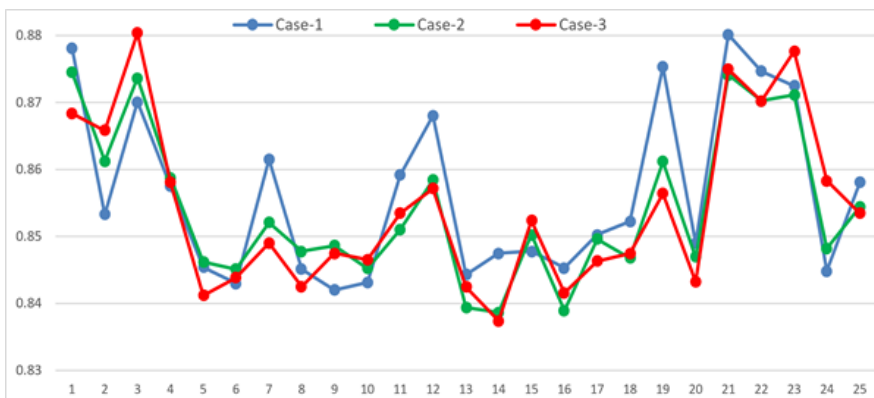
Фигура 3.12. Класиране на специалистите по важност на критериите от Случай-2

Когато се използват предпочитанията, изразени чрез сценария 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.Класиране на специалистите по важност на критериите от Случай-3.

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



Фигура 3.14.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 специалисти да намерят подходяща работа, според тяхното ниво на знания и адаптация към работа в екип. 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. 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 специалистите в IoT и тяхната способност за работа в екип във формулирания интегриран модел за измерване на представянето на специалистите е показана практическата приложимост на предложения модел за класиране на специалистите. Предимство на предложения подход за моделиране е възможността да се разглеждат твърди и меки умения с различно значение.

Основни етапи при изграждането на умен дом

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. 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. На този етап е необходимо да бъде изграден на модел на цифров близък, 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 реализират съответния проект от определения колектив.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ – РЕЗЮМЕ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Интернет на нещата се основава на използването на различни сензори, многопластова архитектура и набор от комуникационни протоколи, които варират в зависимост от спецификата на системата. 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 умните домове се приемат и използват по отговорен и устойчив начин.

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 отнея 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 умен 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 предложени 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.

НАСОКИ ЗА БЪДЕЩИ 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
- Вземане на решения в реално време
- Вземане на решения, съобразени с контекста
- Многокритериална оптимизация
- Подобрена визуализация и подпомагане на вземането на решения
- Разглеждане на социалните и екологичните въздействия
- Персонализация, ориентирана към потребителя

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. **D 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**)

БИБЛИОГРАФИЯ

1. 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>.
2. 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>
3. 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).
4. 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>
5. 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>.
6. Danev, 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>.
7. 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.
8. 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.
9. 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).
10. 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>.
11. 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)
12. 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>.
13. 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)

14. Danev, V., Kirilov, L., and Nikolov, R. (2021). Creating smart home environment based on opensource home automation software. In: *Int. Conference on Computer Systems and Technologies, CompSysTech'21*, pp. 81-86, <https://doi.org/10.1145/3472410.3472444>.
15. 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>
16. 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>
17. Guliashki, V., Marinova, G., Groumpos, P.: Multi-objective optimization approach for energy efficiency in microgrids. *IFAC-PapersOnLine* 52(25), 477-482 (2019).
18. 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.
19. 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>
20. 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>
21. 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>
22. 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>
23. 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.
24. 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
25. Rashevski, M., Nikolov, R., Danev V. (2019) *Smart Home as a Service: Towards Smart and EnergyEfficient Homes*, LAP LAMBERT Academic Publishing ISBN: 978-6200003072
26. 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>.
27. 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>.
28. Vodyaho, A., Yoshinov, R., Zhukova, N., Thaw, A.M., Ahmed, A.S.: Fog oriented model for datacollection 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>.