ФАКУЛТЕТ ПО МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“

Катедра „Компютърни системи“

Ирина Красимирова Кръстева

БЛОКЧЕЙН-БАЗИРАНА СИНХРОНИЗАЦИЯ НА ПЕРСОНАЛНИ АСИСТЕНТИ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен „доктор“
в област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика,
професионално направление 4.6. Информатика и компютърни науки,
докторска програма: Информатика

Научен ръководител: проф. д-р Станимир Стоянов

Пловдив 2024

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита пред научно жури на заседание на катедра „Компютърни системи“ при Факултета по математика и информатика на ПУ „Паисий Хилендарски“, град Пловдив на 15.12.2023 г.

Дисертационният труд съдържа 139 страници. Библиографията включва 150 източника. Списъкът на авторските публикации се състои от 4 заглавия.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 15.03.2024г. от .....ч. в Заседателната зала на Нова сграда на ПУ „Паисий Хилендарски“, град Пловдив.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в секретариата на Факултета по математика и информатика – каб. 330 в Нова сграда на ПУ „Паисий Хилендарски“, всеки работен ден от 08:30 до 17:00 ч.

Научно жури:

1) **Проф. д-р Ася Георгиева Стоянова-Дойчева**
2) **Доц. д-р Ваня Ангелова Иванова**
3) **Доц. д-р Ирина Александровна Радева**
4) **Проф. д-р Мария Петкова Христова**
5) **Проф. д-р Даниела Ананиева Орозова**

Автор: Ирина Красимирова Кръстева

Заглавие: „БЛОКЧЕЙН-БАЗИРАНА СИНХРОНИЗАЦИЯ НА ПЕРСОНАЛНИ АСИСТЕНТИ“

Пловдив, 2024 г.

СЪДЪРЖАНИЕ

СПИСЪК ФИГУРИ **5**

УВОД **6**

Основни цели на дисертационното изследване 6
Основни задачи, свързани с формулираните цели: 7
Структура на дисертацията 7

ГЛАВА 1. МОТИВАЦИЯ И СЪСТОЯНИЕ НА ИЗСЛЕДВАНИЯ ПРОБЛЕМ **8**

1. Blockchain технологиите 8
2. Кибер-физически (CPS) и кибер-физически-социални системи (CPSS) 11
Изводи от Първа глава 11

ГЛАВА 2. ПРИЛОЖЕНИЕ НА БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИИТЕ В МУЛТИАГЕНТНА СИСТЕМА И АДАПТИРАНЕ НА VIPS В ОБРАЗОВАНИЕТО **12**

1. Електронен училищен дневник 13
1. Модел на система, която управлява и координира документи с фабрична номерация 19
Изводи от Втора глава 19

ГЛАВА 3. ПРИЛОЖЕНИЕ НА БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИИТЕ В МУЛТИАГЕНТНА СИСТЕМА И АДАПТИРАНЕ НА VIPS В ЗЕМЕДЕЛИЕТО **20**

1. Реализиране на GeneBank Validator 20
2. Реализиране на GeneBankStore 22
Изводи от Трета глава 27

ГЛАВА 4. ИДЕЙНИ МОДЕЛИ И БЪДЕЩИ ПЛАНОВЕ **28**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ **29**

Основни задачи решени в дисертационното изследване 29
Резултати от научното изследване 29
Планове за бъдещо развитие 30
ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД 31

РЕФЕРИРАНИ ИЗТОЧНИЦИ **32**

СПИСЪК ФИГУРИ

***Фигура 1**. Технология на работа на блоковата верига* 9

***Фигура 2.**Околна среда на SA* 14

***Фигура 3**. Околна среда на ВО* 14

***Фигура 4.** Околна среда на ПА. Съобщение от учител, генерирано на блокчейн канала на Електронния дневник* 15

***Фигура 5**. Class диаграма на модула с оценки* 16

***Фигура 6.** Sequence диаграма на процес валидиране на оценка* 17

***Фигура 7**. Комуникация между агентите в електронен училищен дневник* 18

***Фигура 8**. Създаване на GeneBank Validator* 20

***Фигура 9**. Регистриране на нов сорт растение в GeneBank системата и изпращане на трансакция между двама експерти* 21

***Фигура 10**. GeneBank Validator* 22

***Фигура 11**. Архитектура на „Земеделие 2.0-Пловдив“* 22

***Фигура 12**. Създаване на сертификат с публичен и частен ключ* 23

***Фигура 13**. Монтиране на интелигентен договор в канал* 24

***Фигура 14**. Създаване на потребител и портфейл* 24

***Фигура 15**. Околна среда на ВО* 25

***Фигура 16** Class диаграма на интелигентен договор в канала за продажба* 26

***Фигура 17.** Прототипен модел на система за доставка в GeneBank магазина* 27

***Фигура 18**. Блокчейн канали на снабдителната верига* 28

УВОД

Тенденциите в съвременното развитие определят факта, че тясно свързаните технологии като Интернет на нещата (IoT), кибер-физичните системи (CPS) и кибер-физичните социални системи (CPSS) започват да играят все по-съществена роля. Виртуалното физическо пространство (ViPS) е екосистема на Интернет на нещата, която се разработва в лабораторията на „Разпределен център за електронно обучение (DeLC)“ на ПУ „Паисий Хилендарски“ [20]. Поради гъвкавостта си референтната архитектура на пространството може да се приложи в различни области – интелигентно земеделие, туризъм, умни градове, а също така и в образованието.

В съвременното развитие сигурността на данните е една от ключовите теми, които изискват все по-голямо внимание. Това дава основание за все по-широко използване на Blockchain технологиите, чрез които може да се минимизира риска от манипулиране на вече съхранените данни, а интегрирането на тези технологии в кибер-физическите системи би осигурило възможности за по-цялостно и успешно реализиране на глобалните цели в дигиталната ера.

Основни цели на дисертационното изследване

Основната цел на изследването е: ***Да се анализират и проведат експерименти за съвместяване на интелигентни персонални асистенти с блокови вериги***.

Освен това, **допълнителна цел на изследването е**: ***Разработка и тестване на блокчейн базирани модели, синхронизирани с персонални асистенти и тяхното приложение за различни адаптации на виртуално-физическото пространство ViPS.***

Формулираме тезата, че в много приложения усилването на персонални асистенти с подходяща блокова верига е смислено, ефективно и използваемо, като дава възможност за повишаване нивото на достоверност при интерактивната комуникация между интелигентните компоненти в една мултиагентна система. За доказване на тезата ще използваме конструктивен подход, като създадем архитектура и прототип на мулти-агентна система, използваща целенасочено блокова верига, както и ще обобщим резултатите от проведените експерименти.

За реализацията на основната цел са формулирани следните **подцели**:

- Разработка и тестване на модел на „Електронен училищен дневник“, изграден на базата на синхронизация между интелигентни агенти и използване на блокчейн технологиите в рамките на адаптация на референтната архитектура в сферата на средното образование.
- Разработка и тестване на модел за приложение на технологията при адаптация на ViPS архитектурата в интелигентното земеделие.

Общият подход и методиката на научното изследване се базират на постъпков подход, който преминава от: запознаване с проблематиката; създаване и тестване на различни подходи и модели, свързани с приложението на блокчейн технологиите и синхронизацията им с персонални асистенти в различни проблемни области като образование, интелигентно земеделие и др.

За реализацията на **първата подцел** е формулирана методика на изследването, чрез използване на няколко подхода:

1. Съхранение на чувствителното към промяна съдържание, като оценки от изпитвания на ученици чрез използване на **блокова верига**.
2. Създаване на **Data Module**, където ще се поддържа текуща информация за родителски срещи, бележки за поведението на учениците и други.
3. Синхронизиране на тези две хранилища с данни, посредством **интелигентни агенти**.

За реализацията на **<u>втората подцел</u>** е необходимо да се разработи прототип на система за валидация и разпространение на генетични типове семена, свързани с Ген Банката на Република България. При реализацията се използва постъпков подход, включващ моделиране на системата; реализиране на Blockchain комуникационни канали и механизми за комуникация в мулти-агентна система.

Основни задачи, свързани с формулираните цели:

1. След проучване на различни аспекти и подходи в развитието на Blockchain технологиите, да се създаде обща концепция за тяхното използване при синхронизиране на информацията, така че персоналните асистенти да могат да я използват.

2. Да се създадат модели за приложение на тази концепция при адаптацията на референтната ViPS архитектура в сферите на образованието и интелигентното земеделие.

3. Да се създадат прототипи и да се тества приложението на тези модели.

За да се представят основните идеи при разработката на моделите е необходимо да се опишат по-подробно какви са основните свойства и характеристики на персоналните асистенти и какво представляват Blockchain технологиите, както и какво представлява средата ViPS.

Структура на дисертацията

Предложеният изследователски труд е разделен на няколко логически компонента, които биват разглеждани в отделните глави на дисертацията:

Увод - Уводната част на дисертацията представя разглеждания проблем, основните цели и задачи на дисертационния труд. Представени са общия подход и методиката на научното изследване.

Глава 1. Мотивация и състояние на изследвания проблем. В тази глава се мотивира нуждата от провеждане на текущото изследване. Представят се и се обобщават характерните особености, предимства и недостатъци на блокчейн технологията. Освен това се разглеждат особеностите на кибер-физическите и кибер-физическите-социални системи, като се обсъжда референтната архитектура на Виртуалното физическо пространстно ViPS, чрез която се моделират целевите системи като адаптации в областта на образованието и интелигентното селско стопанство.

Глава 2. Приложение на блокчейн технологиите в мултиагентна система и адаптиране на ViPS в образованието. В тази глава се описва софтуерната арфитектура и се моделира образователната мултиагентна среда за средното училище BLISS. Представя се блокчейн-базираната синхронизация с персоналните асистенти при изграждането на електронния дневник. Представя се и модел на приложение, което управлява и координира използването на документи с фабрична номерация в средното училище.

Глава 3. Приложение на блокчейн технологиите в мултиагентна система и адаптиране на ViPS в земеделието. Трета глава представя приложението на разглежданата концепция при създаване на система за интелигентно земеделие в две направления: реализиране на валидатор на нови семенни образци в националната Генбанка (GenBank Validator) и магазин за продажба или размяна на семенни образци и тяхното използване в реалното производство (GenBank Store) .

Глава 4. Идейни модели и бъдещи планове. В тази глава се представят някои идейни модели за приложение на предложената концепция при разработка на системи в областта на веригата за доставки на земеделска продукция и туризма. Направен е анализ и са дефинирани насоки за бъдещи изследвания.

Заключение – обобщават се резултатите, получени в дисертационното изследване.

ГЛАВА 1. МОТИВАЦИЯ И СЪСТОЯНИЕ НА ИЗСЛЕДВАНИЯ ПРОБЛЕМ

Съвременното развитие поставя все по-съществено въпроса за осигуряване на доверие и поверителност между агентите в мултиагентните системи [1]. Този проблем до голяма степен може да се разреши, чрез използването на Blockchain технологиите. В [11] се предлага базиран на блокови вериги метод за управление на доверието между агенти в мулти-агентна система (MAS) като се постигат три цели: доверие, сътрудничество и поверителност. Блокчейн може да осигури сигурна и децентрализирана рамка за автономни агенти. Използва се и за защита на агенти за повишаване на доверието им в MAS. В [14] е предложена консорциумна блокчейн базирана система за управление на доверие (BTMS) в мулти-агентна система. BTMS се основава на теория на игрите, която подобрява кооперативното поведение на агентите.

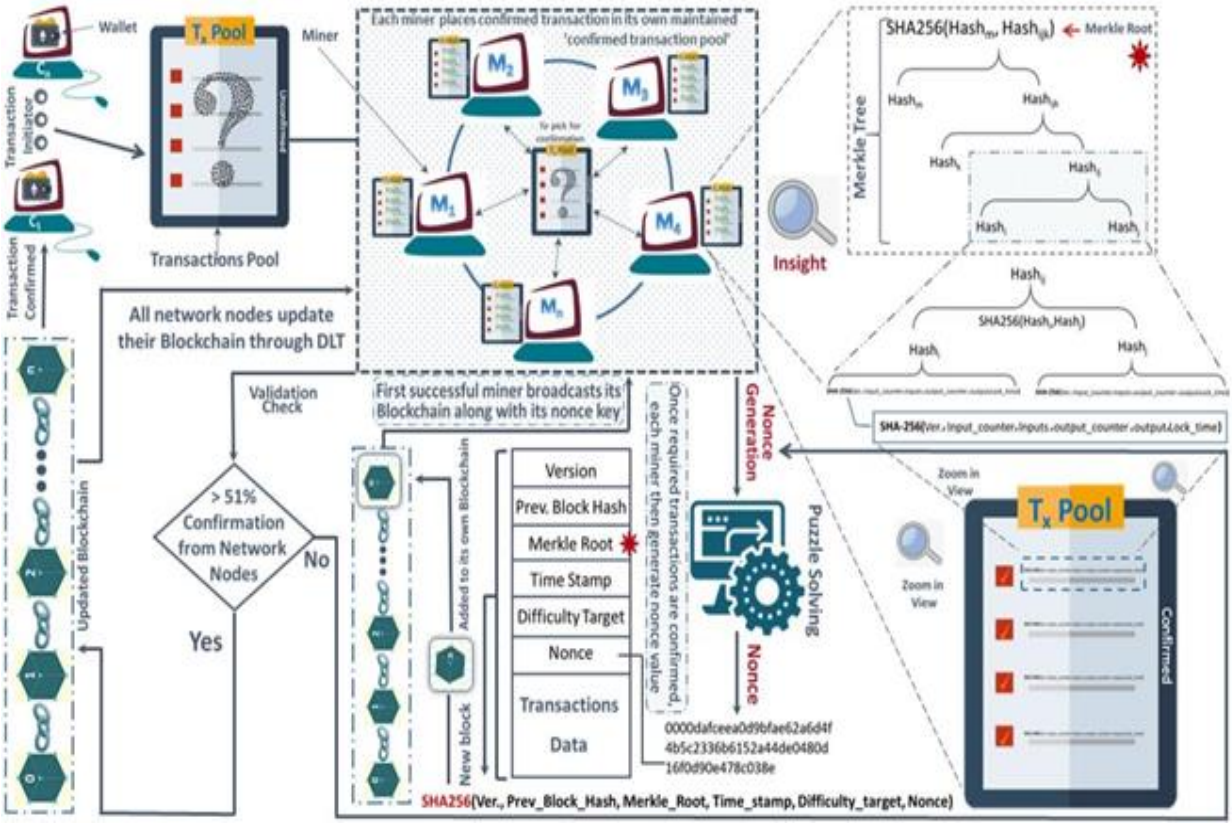
1. Blockchain технологиите

Blockchain технологиите успяват да постигнат почтеност и доверие в чиста peer-to-peer (P2P) система, която се състои от неизвестен брой възли (peers) с неизвестна благонадеждност. P2P архитектурата е разпределена софтуерна система, която се състои от равностойни възли. Чрез бързи и сигурни трансакции, участниците обменят информация и активи помежду си, без намеса на различни посредници. Възлите си сътрудничат заедно с помощта на комуникационна среда за постигане на определена цел, без да имат централен елемент за координация и контрол. Ключова роля за изграждане и поддържане на веригата от блокове е използването на криптографски технологии и технологии за сигурност, за да се постигне интегритет, който представлява, способността да се правят верни твърдения за собственост. Blockchain технологията се базира върху разпределена система от регистри (ledgers), чрез които се поддържа информацията за собственост и съхраняват цялата история от данни за трансакции във веригата. Всеки възел притежава собствено копие от регистъра, като чрез blockchain-алгоритъма се позволява на отделните възли колективно и последователно да установят собствеността [3]. Целта на блоковата верига е да се съхраняват огромно количество данни и те да останат непроменени след създаването си или при опит за манипулация тези промени да бъдат открити бързо и лесно [24].

Блоковата верига използва широко публично-частен подход на асиметричната криптография, която е в основата за идентифициране на потребителите, прехвърляне на собственост, а и за тяхната защита от неоторизиран достъп до системата. Блоковите вериги могат да бъдат класифицирани, според собствеността върху тях, на публични и частни. Публичните блокови вериги са „отворени“ - те са с отворен код и не се изискват права за включване. Частните блокови вериги са собственост на отделна организация. Всички тези характеристики на Blockchain технологията дават възможност за нейното приложение в различни сфери на обществения живот, образованието, туризма, а също и в земеделието. Гарантирането на сигурност и бързото установяване на опити за манипулация на данните могат успешно да се прилагат при разработката на електронен дневник, система за следене движението на документи с фабрична номерация, изграждане на системи в земеделието и туризма.

Технология и характеристики на блоковите вериги. За достъп до Blockchain, всеки потребител (user) получва публичен и частен ключ, който служи за неговото идентифициране в мрежта. Публичните ключове се използват за идентифициране на участниците и криптиране на данни, а частните ключове са нужни за декриптиране и създаване на подписи. Приемаме, че субект А иска да прехвърли Актив (материален, нематериален или финансов) на субект Б. Субект А инициализира трансакция, в която добавя съответния Актив, адреса на субект Б (публичния му ключ), както и цената, която ще плати за обработката на трансакцията и нейното валидиране от Blockchain. Субект А подписва трансакцията си със своя частен ключ и генерира хеш на трансакцията. Трансакцията се изпраща до Субект Б, който я проверя (дектриптирайки я с публичния ключ на Субект А) и ако е съгласен с данните в нея, също я подписва със своя частен

ключ. По този начин двамата се съгласяват с данните по сделката. Новата трансакция се добавя към Transactions Pool, който съдържа всички трансакции, очакващи одобрение и валидиране. Част от възли в мрежата имат право да валидират блокове във веригата. Всеки от тях, подбира част от трансакциите от Transactions pool, които добавя в своя частен pool. Проверява всяка добавена трансакция за нейната формална, семантична коректност и оторизация (Фиг.1).



Фигура 1. *Технология на работа на блоковата верига*

В зависимост от консенсосния механизъм [16], който е избран от съответния Blockchain, един от тези възли ще спечели правото да валидира блок, с избраните и проверени от него трансакции. Всички трансакции, със съответните им хеш стойности, се добавят към дървото на Merkle и се хешират по двойки, докато се достигне до една хеш стойност, неречена корен на дървото на Merkle. Този корен на дървото се добавя към block header на бъдещия блок, както и хеш стойността от данните на предходния блок, времева марка, нивото на трудност, за решаване на хеш пъзел и стойността nonce (при PoW консенсусен алгоритъм), която решава хеш пъзела. След това, възелът обявява бъдещия блок в мрежата. Всички конкурентни възли, проверяват дали всички данни в блока са коректни (трансакциите и nonce) и ако не открият неточности, го одобряват. За да бъде блокът прекрепен към веригата е нужно да получи 51% одобрение от останалите възли, имащи право да валидират блокове. Всички възли, имащи право да валидират блокове, се конкурират за спечелване на наградата (криптовалута), която всеки валидиран блок носи със себе си и за това се стремят да намерят неточности при конкурента. След като блокът е валидиран, се обновяват всички регистри (ledgers) в мрежата, с трансакциите, които новият блок съдържа. Балансите на Субект А и Субект Б се актуализират, за да отразят успешната транзакция, като всички участници в мрежата виждат обновените им баланси.

Интелигентният договор (Smart contract) е програма, която е самопроверяваща се, самоизпълняваща се, устойчива на подправяне и се изпълнява върху Blockchain платформа. Основните компоненти на интелигентния договор са набор от изпълними функции и променливи

на състоянието. Всяка трансакция има входни параметри, които са задължителни за функция на договора. По време на изпълнение на функция, състоянието на променливата се променя в зависимост от логическата реализация. Кодът на интелигентния договор може да се напише на различни езици от високо ниво. След като кодът се компилира без грешки, договорът може да бъде качен в мрежата на Blockchain. На всеки договор ще бъде присвоен уникален адрес от Blockchain мрежата. Всеки user в мрежата може да задейства функциите за изпращане на всякакъв вид трансакции. Интелигентните договори, както е описано в [10], могат да изпращат съобщение до други договори. Съобщението се състои от адреса на подателя, адреса на получателя, стойността на трансфера и полето за данни, което съдържа входните данни на договора на получателя.

По същността си интелигентните договори предоставят бизнес логиката на едно децентрализирано приложение (Dapp), разгърната върху Blockchain и предоставят възможност на участниците да сключват различни споразумения помежду си. Интелигентните договори включват в себе си логика, данни, свойства и събития. Те са управлявани от събития, което означава, че могат да бъдат активирани, когато са изпълнени определени условия. Освен това те могат да работят само с ресурси налични вътре в blockchain мрежата и не могат да взаимодействат с външни данни.

Какво е блокчейн „Oracle“. Smart договорът получава информация от външна програма-агент, наречена „оракул“, за настъпване на дадено събитие във физическия свят. Оракулите по същество са форма на комуникация между външния свят и света на Blockchain. Тъй като Blockchain и интелигентните договори са затворени системи, оракулите представят начин за сигурно предоставяне на данни **извън** веригата на Blockchain мрежата. Те са компоненти (агенти), които се намират извън веригата и поради тази причина свойствата на надеждност на Blockchain не се отнасят за тях.

Cryptlets са компоненти в мрежата на Blockchain, предоставени от Microsoft, които предоставят възможност на децентрализирани приложения (DApp) да комуникират с външни системи и услуги, по сигурен начин. Те са една от ключовите концепции на Azure Blockchain Workbench и представляват *код извън веригата*. Изпълняват се в защитен, надежден контейнер и комуникират с помощта на защитени канали. Cryptlets могат да се използват в системи с Интелигентни договори, когато е необходим достъп до външни ресурси, допълнителни функционалности или друга информация извън веригата, без да се нарушава сигурността и доверието в Blockchain мрежата. Идеята зад Cryptlets е да се осигури по-голяма гъвкавост и функционалност за блокчейн приложенията, като същевременно се поддържа интегритетът и сигурността на данните. Чрез тях могат да се обединят предимствата на Blockchain технологиите с мощността на облачните услуги. Това е важна стъпка към разширяване на потенциала на Blockchain в различни сфери на бизнеса и социалните аспекти.

Основните предизвикателства, пред които се изправя Blockchain технологията са: проблем с мащабируемостта; проблем с латентността на мрежата; ниската пропускателна способност; интеграция със съществуващи наследени системи; поверителност на данните и др.

Потенциални решения на проблемите са: разработката на системи с хибридни архитектури и използването на централизирани бази данни, използването на облачни услуги, а за допълнително подобряване на поверителността и сигурността на Blockchain, може да се използва йерархична базирана на Blockchain система [9], състояща се от частни блокови вериги, чрез които се постигат по-добри характеристики за поверителност на данните и консорциумна блокова верига, в която ще се съхраняват данни за осъществяване на икономически отношения между различни участници, както и съхранение на данни, изисквани от законодателни или регулаторни органи [8].

2. Кибер-физически (CPS) и кибер-физически-социални системи (CPSS)

Кибер-физическите системи (CPS) се отнасят до интеграцията на процеси и изчисления между физическия и дигиталния светове. Според дефиницията на National Science Foundation (NSF) [15] кибер-физическите системи (Cyber-Physical Systems - CPS) осигуряват интеграция между изчислителни, мрежови и физически процеси. Вградените дигитални компоненти и мрежи наблюдават и контролират физическите процеси, като осигуряват непрекъсната обратна връзка и контрол. Терминът Кибер-физическа-социална система (CPSS) е въведен за първи път в [23]. Те се разглеждат като системи, предоставящи интелигентно взаимодействие между човек и машина в киберпространството за постигане на управление и контрол на сложни социално-технически системи.

Виртуалното физическо пространство (ViPS) е екосистема на Интернет на нещата, която се разработва в лабораторията на „Разпределен център за електронно обучение (DeLC)“ на ПУ „Паисий Хилендарски“. ViPS архитектурата се изгражда като референтна архитектура, която може да бъде адаптирана за различни CPSS приложения в различни приложни области като интелигентно земеделие, туризъм, умни градове, а също така и в образованието. Обикновено при изграждането на конкретно ViPS-приложение се адаптират само отделни компоненти на архитектурата, като се добавят и интегрират модули, специфични за разгежданата предметна област. Можем да дефинираме следните аспекти на ViPS:

- Потребителите са във фокуса на вниманието, което определя пространството като CPSS.
- Физическите „неща“ са виртуализирани като се обработват по унифициран начин.
- Осигурена е интеграция на виртуалния и физическия светове.

Референтната ViPS архитектура е мултиагентна, тъй като агентно-ориентираните подходи са подходящи за изграждане на CPSS приложения. Поради естеството на ViPS, потребителите са в центъра на вниманието. Разработката на персоналните асистенти (ПА) във ViPS се основава на софтуерната архитектура BDI, която се опитва да имитира начина, по който хората мислят. Всеки ПА трябва да изпълнява две основни задачи: *подпомагане и превенция* и да притежава следните свойства*: да бъде автономен, реактивен, проактивен и социален***.** Спецификацията на околната среда, в която агентите оперират, е от съществено значение за тяхната работа. Всяко действие върху околната средата, би довело до промяна на вярванията на агента, а от там до промяна на неговите намерения и той може да премине отново във фазата на обмисля и промяна на плана за постигане на целта. Вярванията му могат да бъдат променени и от комуникацията с друг агент.

Освен персоналните асистенти във ViPS пространството функционират още асистенти- гардове, които осигуряват взаимодействието между физическия и виртуалния светове, както и оперативни асистенти, които помагат изпълнението на плановете, осигуряват реализацията на различни услуги и поддържат връзка с подпространството на дигиталните библиотеки, където се съхраняват данните и знанията за съответната област на адаптация на ViPS.

Изводи от Първа глава

1. Blockchain технологиите са разпределена криптографска система, която гарантира собственост, елиминира посредниците, гарантира прозрачност и проследимост при управление на процеси с повече участници. Те са подходящи за отчетност и доверие при взаимодействието на агенти в мулти-агентна система.

2. Синхронизацията между агентите в кибер-физическа и социална среда със система изградена върху технологията на блоковите вериги, може да се реализира посредством специализиран Oracle blockchain агент.

ГЛАВА 2. ПРИЛОЖЕНИЕ НА БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИИТЕ В МУЛТИАГЕНТНА СИСТЕМА И АДАПТИРАНЕ НА VIPS В ОБРАЗОВАНИЕТО

BLISS е адаптация на референтната архитектура ViPS за подпомагане на учебния процес в средното училище [22]. BLISS е реализирана като мулти-агентна система. Ядрото на системата е изградено от персонални асистенти, които взаимодействат помежду си. Околната среда на агентите се състои от две части – BLISS сървър, управляван от събития и училищен дневник, реализиран като Blockchain [6]. Разработени са нови видове конкретни персонални асистенти като инстанция на генетичния персонален асистент [29], **Error! Reference source not found.**. За целите на нашето изследване и разработването на BLISS модула ние дефинирахме няколко персонални асистенти.

PAStudent. Персонален асистент, подпомагащ учениците за изпълнение на техните ежедневни задължения в съответствие с утвърден учебен план. ПА информира за всички предстоящи събития, които го засягат като изпити, уроци, учебни сесии, консултации и др. Асистентът следи и напомня на ученика какво трябва да подготви преди наближаващото събитие. Например, ако е постъпило известие за предстоящо събитие (изпит по математика) *L1=<Mathematics, Exam, attr(20.10.2023, time(10:00,10:45))>,* е необходимо не само да информира съответния потребител, но и да е в състояния да извършва изпреварващи действия и превенция, т.е имайки превенционен интервал, заложен в базата си знания, за този вид събития, например 15 дни, трябва да изготви план как да подпомогне ученика, за да участва в събитието и да постигне целта. Може да му предостави необходимите ресурси за самоподготовка и да го подпомага в учебния процес. ПА е в състояние да подготвя анализи за резултатите от участието на ученика в учебния процес.

PATeacher. Този асистент е предназначен за учители. По аналогичен на ученическия асистент начин, също може да напомня за предстоящи събития и необходимата подготовка. Основната му функция обаче, е подпомагане на учителите да проследяват и анализират участието и напредъка в учебния процес, както и резултатите на своите ученици. Анализите могат да се използват за различни подобрения. Така например, ако учителят забележи, че голям брой от учениците са се провалили в определена част от изпита, но в същото време са отделили значително време за самоподготовка по тази тема, тогава той може да заключи, че трябва да направи някои корекции в материала, за да гарантира, че ще бъде по-лесно усвоим от учениците.

PAParent. Асистентът предоставя информация на родителите за участието и напредъка на тяхното дете в училище. Родителят може да види информация за оценките, събитията, които детето им трябва да посещава и бележки, направени от учителите. Благодарение на постоянната вътрешна комуникация между агентите и анализ на информацията, получена от персоналния асистент на ученика, то родителят може да бъде предупреден за опасно поведение или промяна в държанието на ученика. Например, ако едно дете е било отличен ученик и започне да получава по-ниски оценки, родителят ще бъде предупреден за това. Ако детето започне да игнорира препоръките, които получава от своя асистент, тогава той ще изпрати известие до родителския асистент и родителят може да реагира.

PAPrincipal. Целта на този асистент е да подпомага директора на училището за ефективно управление. Основно асистентът е предназначен за помощ при планиране, провеждане и контролиране на учебния процес. Това е най-трудният за реализиране персонален асистент.

Околната среда на асистентите се състои от BLISS сървър и училищен дневник. В BLISS сървъра всички информационни обекти (като графици, уроци, изпити, консултации, самоподготовка, срещи) се представят като специфични за домейна събития. Оторизираните преподаватели и модератори, поддържани от BLISS-сървъра, могат да създават, актуализират и премахват събития. Сървърът съхранява тези събития, контролира достъпа до тях и предоставя на учениците личен асистент за генериране, управление и контрол на персонализирани учебни

програми и графици. Всяка промяна в сървъра се възприема автоматично от всички „заинтересовани“ асистенти. В околната среда на асистентите е разположен също и училищния дневник (School Diary), реализиран с помощта на Blockchain технологии.

1. Електронен училищен дневник

По своята същност модулът „Електронен училищен дневник“ представлява мулти-агентна система. За нуждите на настоящата разработка, ние дефинираме четири вида роли на участниците в системата, които са описани в BLISS модула. На всяка една роля, съответстват група потребители, които имат еднакви функционалности и права. За всяка от ролите са моделирани генетични персонални асистенти, които да подпомагат работата на потребителите със системата.

Целта, която сме си поставили е да записваме чувствителното към промяна съдържание като оценки на учениците, което да остане непроменено във времето, използвайки блокова верига, а същевременно с това да използваме всички предимства и на Модула за данни (Data Module), намиращ се на BLISS сървъра, където ще се поддържа информация за родителски срещи, бележки за поведението на учениците и други. Ще използваме и двата подхода при изграждането на електронен дневник.За изграждането на дневника ние използваме частна (затворена) блокова верига, разработена, чрез блокчейн платформата „Hyperledger Fabric“. Тази платформа е с отворен код [25], предоставя възможност да се използват и разработят smart договори **(chaincode)**, чрез които се предоставя определена бизнес логиката, която да бъде изпълнена върху Blockchain мрежата. Предоставя възможност и за разработване на отделни комуникационни канали, чрез които определени групи от участници комуникират и изпращат трансакции помежду си. Един Hyperledger Fabric канал е част от блокчейн мрежата, но има своя собствена верига от блокове, видима само от участниците в него. Това позволява на организациите в мрежата да изпълняват трансакции и да поддържат собствени данни, които са недостъпни за другите канали в мрежата. В един комуникационен канал могат да се изпълнят един или няколко smart договора, в зависимост от логиката на приложението.

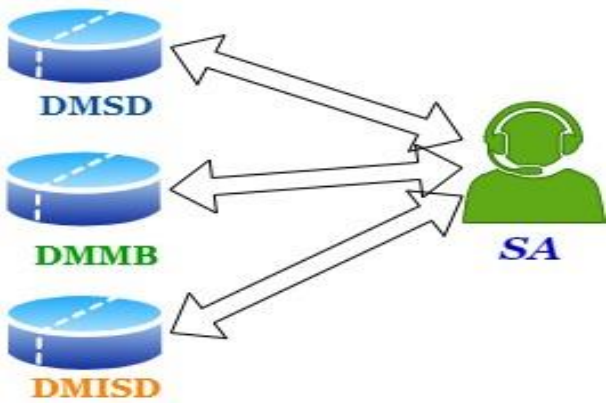
Създаден е комуникационен канал „**channelSD**“ за електронния дневник. Учителите се присъединяват към него, само след специално разрешение от директора на училището. След като достъпът е разрешен, системата предоставя публичен и частен ключ на съответния учител като публичният ключ ще се запише и като уникален идентификатор на личния му асистент, а частният ще се съдържа в него като кореспондираща двойка.

Както споменахме по-рано, тъй като Blockchain и интелигентните договори са затворени системи (on-chain), Blockchain оракулите (BO) осигуряват начин за сигурно предоставяне на данни извън веригата на Blockchain мрежата. За записване на оценките от Data Module на електронния дневник (DMSD) в блоковата верига, ние ще използваме Blockchain оракул (BO). Оракулът е външен агент за данни, който наблюдава събития от реалния свят и посредством интелигентен договор ги предава на Blockchain мрежата. При настъпване на събитие „Въведена и потвърдена оценка“ в базата данни на електронния дневник, оракулът извиква интелигентен договор, разработен за целта и подава данните. Чрез Интелигентният договор, се създават данни на трансакции в блоковата верига. След като трансакциите са създадени и подписани, блоковата верига ги проверя за формална и семантична коректност и оторизация. Само коректните трансакции се окомплектоват в блок и се валидират в блоковата верига. След като блок се валидира, всички регистри (ledgers) в системата се актуализират с новите данни.

Както вече споменахме, регистрите (ledgers) поддържат информацията за собственост и съхраняват цялата история от данни за трансакции, които някога са възникнали в блоковата верига, в частност комуникационния канал. Сървърът, където ще бъде разположен модула за данни на дневника (DM) и персоналните асистенти, ще бъде възел в блоковата верига и ще съхранява регистъра на блоковата верига.

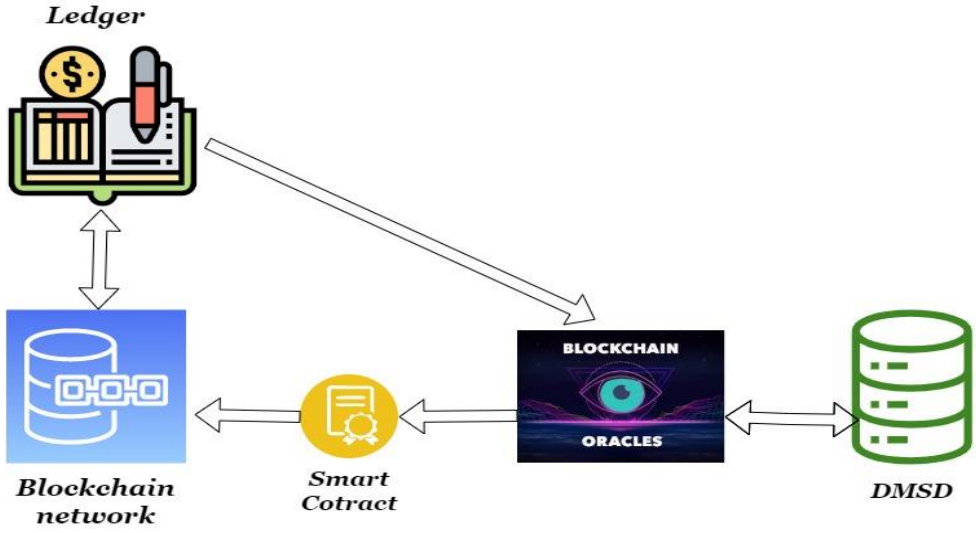
За връзка между Blockchain оракула, Data module school diary (DMSD) и различните групи персонални асистенти, се създава специалист асистент (SA), който е интелигентен агент и има за цел да реагира на промяна в околната среда на електронния дневник. При одобрение на трансакциите в комуникационния канала на веригата, при постъпването им в регистъра (ledger) на сървъра, Blockchain оракулът извлича тези данни и информира специалист асистента (SA), че е настъпила промяна в околната му среда. Тогава той реагира и информира всички асистенти, които ги касае тази промяна. Оракулът записва информацията (хеш стойността на трансакцията с оценката) в модула за данни, до който имат достъп всички персонални асистенти, както и SA.

Околната среда на SA се състои от три модула (Фиг.2) – DM на електронен дневник (**DMSD**), DM на главната книга (**DMMB**) на училището, както и DM на индивидуалните ученически картони (**DMISC**). В главната книга на училището се записват само срочни и годишни оценки, както и оценки от матури на ученици в редовна форма. За учениците в самостоятелна форма на обучение, до и в 7-ми клас, в главната книга се записват само годишните им оценки. Информацията, която се записва в индивидуалните ученически картони (DMISC) е същата като в главната книга, но се отнася за ученици в и след 8-ми клас.



Фигура 2.*Околна среда на SA*

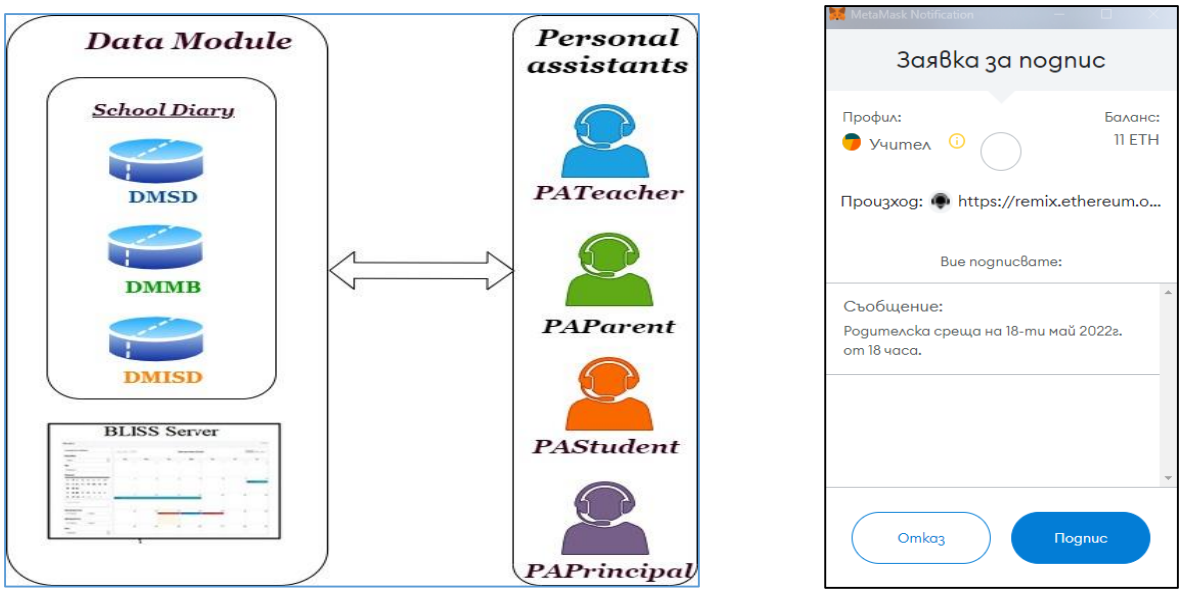
Околната среда на Blockchain оракулът (Фиг. 3) е **DMSD**, регистърът (**ledger**) на Blockchain и самият Blockchain, извиквайки интелигентен договор.



Фигура 3*. Околна среда на ВО*

Околната среда на всички персонални асистенти (Фиг.4а) е **DMSD** и **BLISS server**, управляван от събития. Примери за такива събития са консултации с учители, изпити, онлайн

обсъждане на съдържание, срещи, съобщения и т.н. На следната Фигура 4б е представено съобщение на учител, генерирано на база блокчейн канала на електронния дневник.



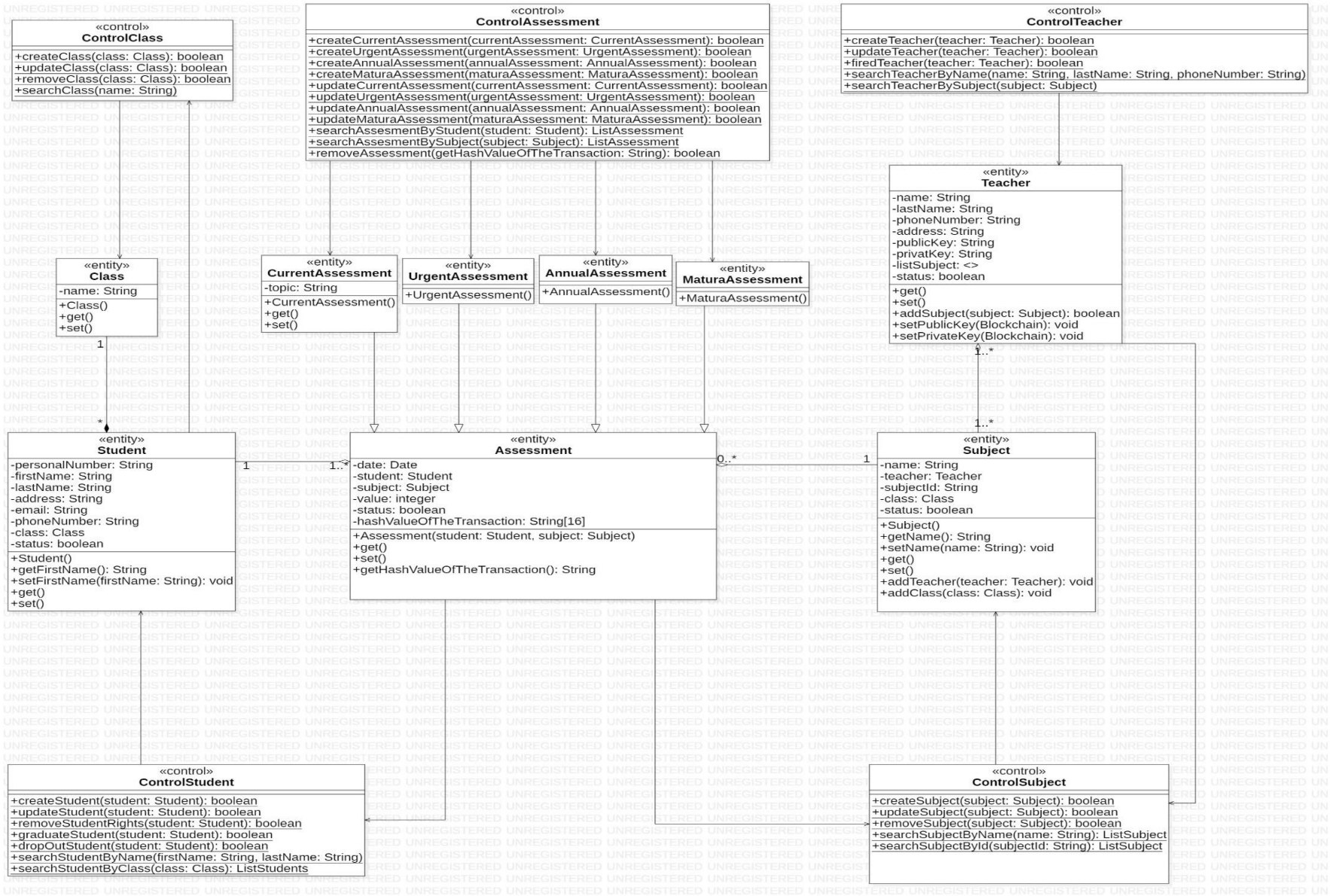
(а) (б)

Фигура 4. *Околна среда на ПА. Съобщение от учител, генерирано на блокчейн канала на Електронния дневник*

Както е показано на UML диаграмата от Фиг.5, разграничаваме четири типа оценки, които се записват в електронния дневник: текущи, срочни и годишни и оценки от матури (вкл. национални външни оценявания). Всяка една оценка, съдържа следните променливи: датата, на която е въведена, предметът, за който е поставена, ученикът, който я получава, стойността на оценката, статус – въведена или потвърдена, както и хеш стойността на самата трансакция след валидирането на оценката в блоковата верига.

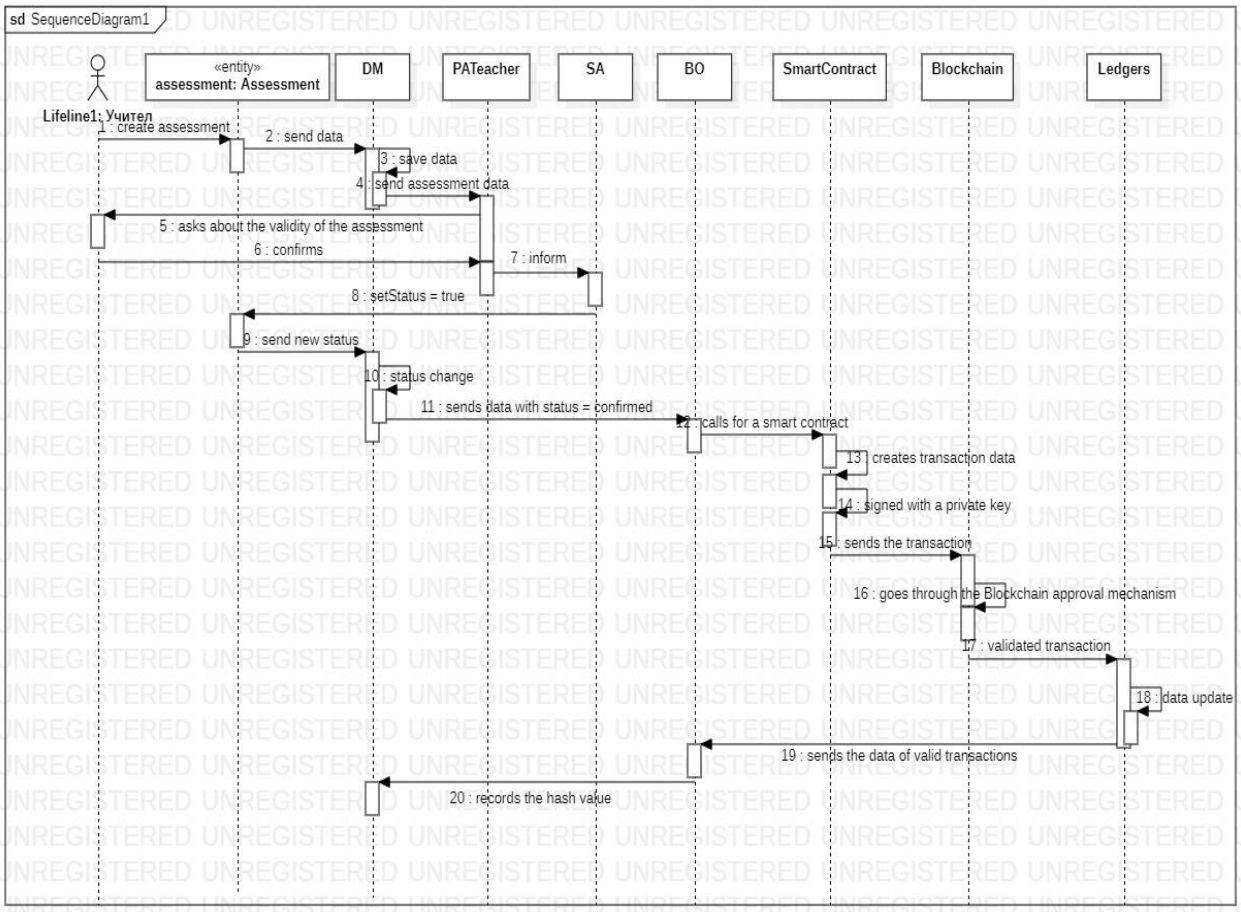
Както описахме по-горе, всеки персонален асистент във VIPS трябва да притежава следните свойства: автономност - да оперира самостоятелно и независимо в интерес на потребителя; реактивност – да реагира на промените в околната му среда; проактивност – да поема инициатива в полза на потребителя и социалност – да взаимодейства с потребителя и останалите агенти в системата.

При записване от учителя на оценка в DMSD, тя получава автоматичен статус „въведена“. Околната среда на PATeacher, в DMSD се променя. Персоналният асистент на учителя проверява средната оценка на ученика по дадения предмет. Ако засича сериозно отклонение (2 единици разлика), спрямо текущата получена оценка, изпраща тази информация до учителя. За да може оценката да бъде изпратена за валидиране в блоковата верига е нужно да приеме статус „Потвърдена“, затова PATeacher отправя запитване до учителя, дали оценката е валидна. Ако учителят е допуснал грешка, при въвеждането, може да я промени или изтрие от дневника, преди да потвърди валидността на оценката. Ако учителят потвърди оценката, PATeacher изпраща потвърждението до SA, който променя статус на тази оценка от „въведена“ на „потвърдена“.



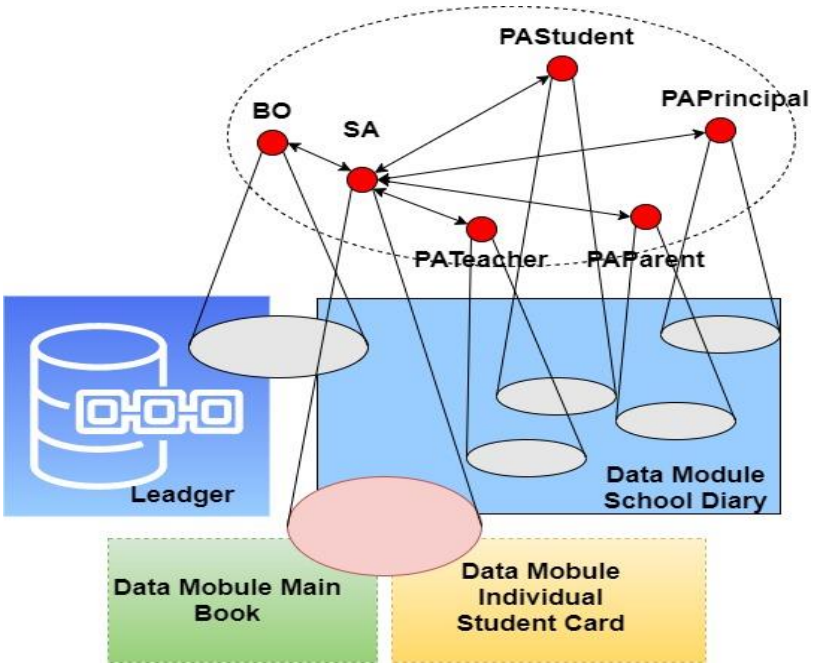
***Фигура 5**. Class диаграма на модула с оценки*

Оракулът (BO), наблюдавайки DMSD, следи основно за промяната на статуса на оценките, при промяна на „потвърдена“, извиква smart договора, който окомплектова данните на трансакцията, подписва я с частния ключ на учителя и частния ключ на директора на училището, като получател и я излъчва в блоковата верига. След като данните се проверят за формална, семантична коректност и оторизация, трансакцията се валидира в блок и се записва във регистрите (ledgers) на възлите на Blockchain. Оракулът, наблюдавайки регистъра на сървъра, знаейки кои оценки е подал за изпълнение от интелигентния договор, след постъпване на тези данни, записва хеш стойността на трансакцията от регистъра в DMSD в поле ***hashValueOfTheTransaction***. На Фиг.7 е визуализирана последователността от действия при реализирането на този сценарий.



Фигура 6. *Sequence диаграма на процес валидиране на оценка*

Много важна част в изграждането на една мулти-агентна система е комуникацията между асистентите. По дефиниция, на база на тези съобщения, те могат да променят представата си за околния свеят и по време на следващия етап за обмисляне, те могат да изберат друг план за постигане на дадена цел или подцел. Комуникацията между агентите в електронния училищен дневник са представени на Фиг.7, като за по-добра прегледност сме включили само комуникацията на SA с другите асистенти в системата [4]. Друга важно уточнение е, че околните среди, в която оперират тези агенти, може да се препокриват.



***Фигура 7**. Комуникация между агентите в електронен училищен дневник*

Друг важен момент е, че макар блоковата верига да е децентрализирана, системата има централен елемент за комуникация и контрол. Ако в сървърът, който поддържа системата, възникне технически или комуникационен проблем, системата ще спре своята работа. За това смятаме, че е редно, тя да се поддържа и в облачното пространство като резервно копие. Менталните бележки, които асистентите добавят в своята база знания, са от изключително значение за системата, тъй като агентът може да ги изпалзва на по-късен етап.

След нанасяне на стойност в ***hashValueOfTheTransaction*** в DMSD срещу всяка оценка, SA разпределя оценките по електронните бележници на учениците и уведомява всички персонални асистенти, които засяга тази промяна, за настъпило ново събитие в тяхната околна среда. След като персоналните асистенти информират потребителите (ученици и родители), те записват оценките в своята база знания. Всеки персонален асистент помни като какъв е създаден. Той съхранява получената информация в своята база знания и следи напредъка на ученика.

При получаване на годишна оценка или оценка от матура, за всеки ученик, SA прехвърля тези оценки и техните хеш стойности, получени от Blockchain, в главната книга на училището (DMMB) или електронните индивидуалните ученически картони (DMISC). SA следи за промяна на данни в DMMB и DMISC. Само той може да записва информация за оценките в тях. Ако настъпи промяна на данните, при опит за манипулация, той реагира, синхронизира данните с Blockchain оракула и записва коректните стойности. Така гарантираме, че оценките записани в тези документи, гарантират истината и не могат да бъдат манипулирани.

Чрез комуникация с модулите за данни на Главната Книга на училището (DBMB) и Индивидуалните Ученически Картони (DBISC) могат да се издават документи с фабрична номерация за завършен клас и образователна степен.

1. Модел на система, която управлява и координира документи с фабрична номерация

Друг важен момент в образованието е проследяване движението на документи с фабрична номерация. Получаването, използването и при нужда унищожаването на дипломи, свидетелства и други е процес, изискващ непрекъснато проследяване, верификация и сигурност.

Използването на Blockchain технологиите е един разумен и подходящ избор при изграждане на такава система. Те ни позволяват да прехвърляме и проследяваме документи с фабрична номерация (които ще наречем активи) между отделни организации по един сигурен, надежден и гарантиращ интегритет начин. Идеята ни е да изградим частна блокова верига (затворена) между Министерство на образованието и науката, печатница за документи с фабрична номерация, РУО-Пловдив и всички училища в област Пловдив. Всички участници в тази верига са предварително известни и имат определени права и отговорности. Така ще предоставим сигурен начин за обработка и прехвърляне на документи с фабрична номерация. Всяка отделна организация ще бъде отделен възел в системата, като:

- **Всяко училище** става възел в системата, за да съхранява, на свой сървър, цялата история от трансакции в мрежата, намиращи се в регистъра (ledger) на Blockchain. Всеки директор, изпраща искане за достъп до системата на РУО-Пловдив. След като достъпът е разрешен, системата предоставя публичен и частен ключ на съответния директор, чрез които той може да проверява и подписва трансакциите за получаване и изпращане на документи с фабрична номерация.

- **Печатницата на документите с фабрична номерация**, въвежда напечатаните документи като активи в системата и ги изпращам, на база направените предварителни заявки от училищата към РУО-Пловдив, до съответните училища.

- **Директорът на съответното училище** проверява и приема трансакциите с документи, като ги подписва със собственият си частен ключ, получен от системата.

След като документите станат активи в портфейла на училището, те могат да преминат през различни състояния: наличен, използван, прехвърлен, негоден, сгрешен, бракуван. Блоковата верига проверява всяка трансакция за формална и семантична коректност и оторизация. Само коректните трансакции се записват и окомплектоват в блок и се валидират в Blockchain. Това ни дава възможност да проследим движението на всички документи с фабрична номерация създадени някога в системата, както и да гарантираме техния произход [28].

Изводи от Втора глава

1. Представеният модел на синхронизация между персоналните асистенти на различните групи потребители и вградените блокчейн канали в кибер-физическа и социална ViPS-базирана училищна образователна среда осигурява интегритет и доверие в процеса на тяхното взаимодействие.

2. Разработеният прототип потвърждава възможността за приложение на представения модел на блокчейн-синхронизация с персоналните асистенти като улеснява работата на отделните групи потребители, без да изисква допълнителни механизми за контрол при работа с чувствителна информация.

ГЛАВА 3. ПРИЛОЖЕНИЕ НА БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИИТЕ В МУЛТИАГЕНТНА СИСТЕМА И АДАПТИРАНЕ НА VIPS В ЗЕМЕДЕЛИЕТО

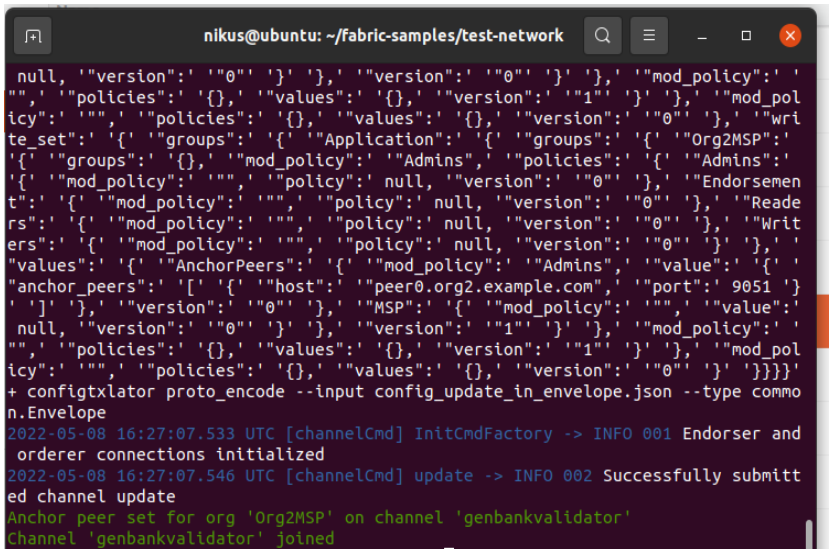
В тази глава е предложена концепция за използване на модела **персонален асистент-блокова верига** за решаване на проблеми, свързани с интелигентното земеделие [7], включително верифициране на нови семенни образци в националната Генбанка, както и тяхното разпространение.

Националната генбанка на Република България е изградена през 1984 г. Основната задача е изпълнение на научната програма за дългосрочно и средносрочно съхранение на зародишна плазма чрез семена при контролирани условия, като се спазват международните стандарти. Националната генбанка в Института по растителни генетични ресурси в гр. Садово, обл. Пловдив извършва обмен с над 100 генбанки, ботанически градини и международни центрове за растителни и генетични ресурси в света. Националната Генбанка представлява мрежа от аграрни институти, които създават, поддържат и разпространяват нови сортове растения. Всеки институт притежава своите експерти по дадена култура, които се наричат куратори. Те са хората, които създават новите генетични видове.

В следващата част са представени две приложения на разгледания модел на синхронизация между персонални асистенти и блокова верига: създаване на валидатор на новите семенни образци в Генбанката и разработка на мултиагентна система за разпространение и семепроизводство на генетични видове от Генбанката на България [13].

1. Реализиране на GeneBank Validator

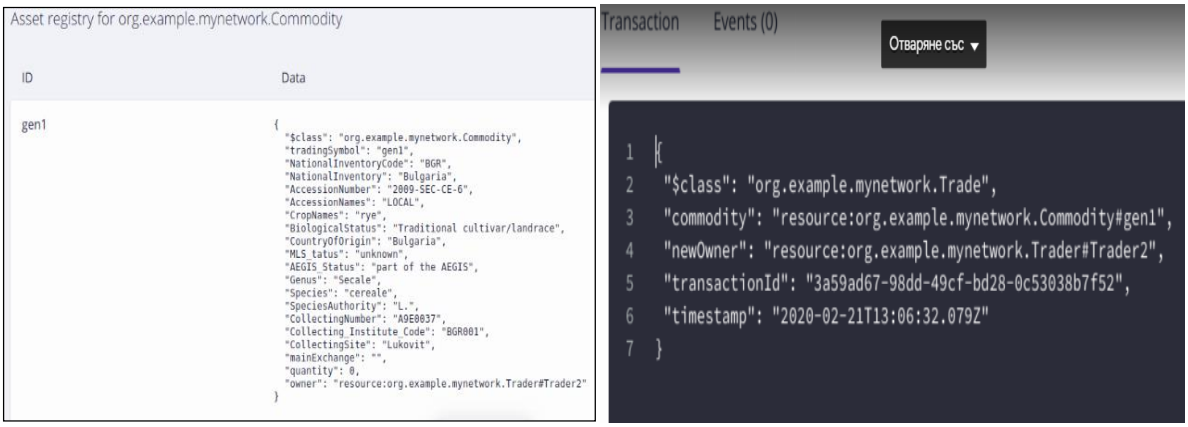
Валидаторът на нови семенни образци се резреботва като отделен блокчейн канал **GeneBank Validator.** Този канал се разработва като затворена система, реализирана като блокова верига, използвайки Hyperledger Fabric Blockchain, която има за цел да верифицира и валидира всеки нов сорт растение. Участващи в нея са експертите от всички земеделски институти на територията на Република България, Патентното ведомство и Изпълнителната агенция по сортоизпитване, апробация и семеконтрол. Всички те получават собствен публичен и частен ключ, чрез които могат да проверяват и подписват трансакциите в блоковата верига. На Фиг.8 е показано създаването на канал GenBankValidator.



***Фигура 8**. Създаване на GeneBank Validator*

Сертификат за нов сорт растение се предоставя, когато той е нов, различен, хомогенен и стабилен. Сортът трябва, освен това, да има сортово наименование, което да се свързва с неговото генетично обозначение и да служи за идентифицирането му.

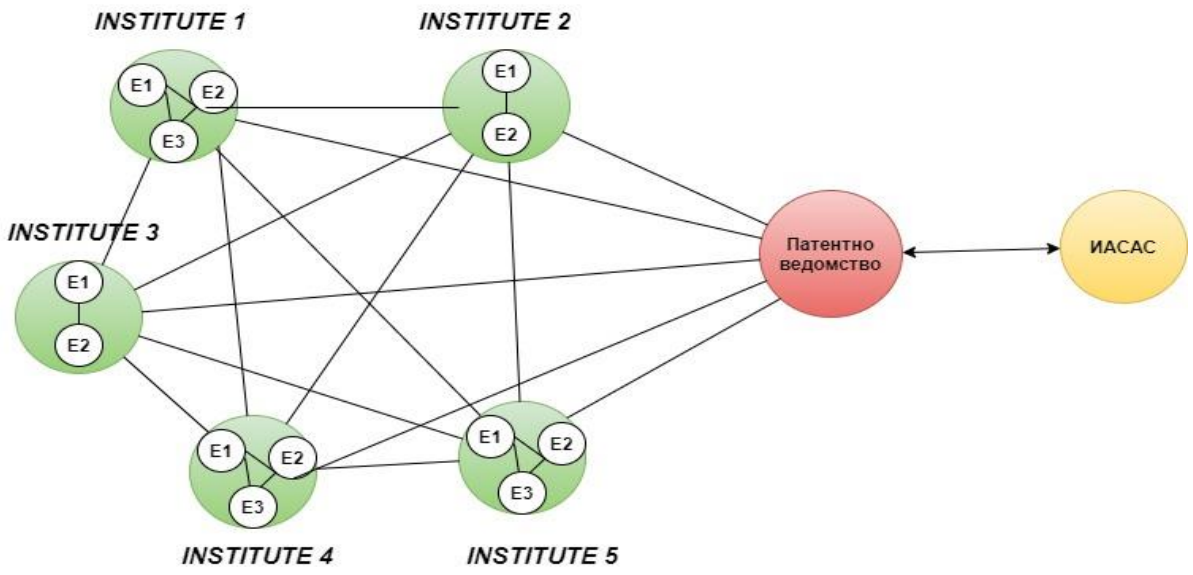
Определянето на характеристиките и сертифицирането на един нов сорт е дълъг процес, който изисква участието на екперти от разлачнате научни земеделски институти у нас, които се регистрират в блокчейн канала. За да се поиска сертифициране на нов сорт растение, експерт от съответен институт въвежда неговите паспортни данни в системата, съгласно международния стандарт ***EURISCO*** (виж Фиг.9а) След създаването на „актива“ в системата, експертът го изпраща до втори експерт от същия Институт, чрез трансакция (виж Фиг.9б).



(а) (б)

Фигура 9. *Регистриране на нов сорт растение в GeneBank системата и изпращане на трансакция между двама експерти*

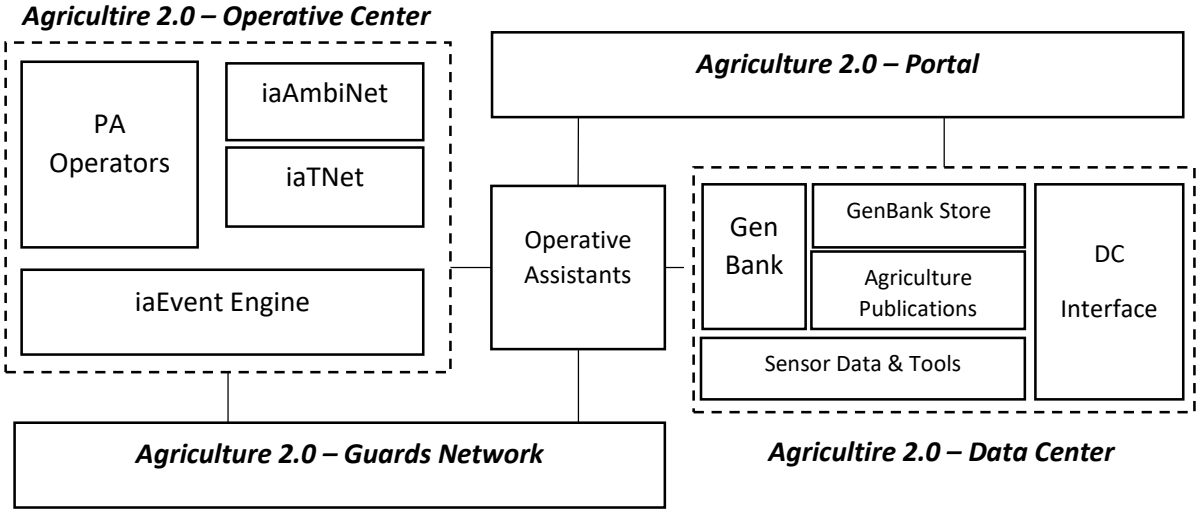
Ако двамата оторизирани експерти подпишат трансакцията, те се съгласяват с наличието на нов генетичен сорт растение. Този Актив се изпраща с трансакция от Института до Патентното ведомство, заедно с всички необходими документи. В законоустановения срок, Патентното ведомство, предава заявката на Изпълнителната агенция по сортоизпитване, апробация и семеконтрол (ИАСАС) за експертиза по същество. ИАСАС извършва законоустановените проверки, проби за анализ, документи и други. След което, връща своята експертна оценка до Патентното ведомство. Ако се установи, че сортът не отговаря на изискванията за нов, Патентното ведомство информира Института, чрез съобщение и официална поща. При решение в доклада от ИАСАС за признаване на сорта като нов, Патентното ведомство подписва получената трансакция от Института, с което потвърждава валидирането. След вземане на решение за издаване на сертификат и заплащане на съответните такси, новият сорт растения се вписва в държавния регистър на сертификатите за сортове на Патентното ведомство. Системата издава сертификат за нов сорт растения на съответния Институт (Фиг.10).



***Фигура 10**. GeneBank Validator*

2. Реализиране на GeneBankStore

"Земеделие 2.0 - Пловдив" е адаптация на референтната ViPS архитектура, която се разлага на три основни компонента, които се реализират в рамките на три отделни подпроекта – Изграждане на Operative Center, Data Center и Guards Network (Фиг.11). За изграждане на тези три подсистеми се адаптират почти всички компоненти от VIPS [21].



***Фигура 11**. Архитектура на „Земеделие 2.0-Пловдив"*

Част от Центъра за данни (Data Center) е магазинът за доставка GeneBank, който е тясно свързан с Генбанката. Този магазин се разработва като автоматизирана складова система за изпълнение на поръчки за доставка на семена. Магазинът GeneBank се реализира като консорциумна блокова верига, използвайки Hyperledger Fabric Blockchain [12].

Системата предоставя достъп за въвеждане на паспортни данни на нови генетични екземпляри, само на определен кръг, предварително известни, потребители. Използваме публично-частен

подход на асиметричната криптография, която е в основата за идентифициране на потребителите, прехвърляне на собственост, а и за тяхната защита от неоторизиран достъп до системата, представено на Фиг.12. Всеки от тези потребители ще има правото да регистрира и допълва образци, при условията за дългосрочно съхранение, в три типа колекции:

- **Базова колекция** – поддържа се при условия за дългосрочно съхранение на семенни образци, които се съхраняват в херметично затворени опаковки, при ниска влажност на семената и температура – 18ºC.

- **Работна колекция** – гарантира безопасно съхранение на семена от три до десет години при + 6ºC.

- **Обменна колекция** – осигурява материали за свободен обмен с партньори от националната и международната система.

***Фигура 12**. Създаване на сертификат с публичен и частен ключ*

GeneBank store се изгражда като консорциумна блокова верига, като тя сама по себе си се състои от три различни комуникационни канала:

- **Канал за обмен на семена**, чрез който Институтите (И) на територията на Република България, ще може да обменя семена с други земеделски институти от цял свят, както и ще предоставят семена за дългосрочно съхранение на други национални Генбанки.

- **Канал за дарение**, чрез който Институтите на територията на Република България ще даряват семена на ботанически гради (БГ) от цял свят.

- **Канал за продажба**, чрез който Институтите на територията на Република България ще продават, създадени от тях генетични екземпляри, на семепроизводители.

Във всеки отделен канал, логиката за опериране ще бъде различна, което ще изиска създаването на различни интелигентни договори. Монтирането на интелигентен договор в канала за дарение е представено на Фиг.13.

```
nikus@ubuntu: ~/fabric-samples/test-network
2022-05-08 19:51:56.849 EEST [chaincodeCmd] ClientWait -> INFO 002 txid [46e70ae
301b5dc94f7bf28ceb68942627201a122812163f018f1a1d3a0a18d9d] committed with status
 (VALID) at localhost:9051
Chaincode definition committed on channel 'mychannel'
Using organization 1
Querying chaincode definition on peer0.org1 on channel 'mychannel'...
Attempting to Query committed status on peer0.org1, Retry after 3 seconds.
+ peer lifecycle chaincode querycommitted --channelID mychannel --name basic
+ res=0
Committed chaincode definition for chaincode 'basic' on channel 'mychannel':
Version: 1.0, Sequence: 1, Endorsement Plugin: escc, Validation Plugin: vscc, Ap
provals: [Org1MSP: true, Org2MSP: true]
Query chaincode definition successful on peer0.org1 on channel 'mychannel'
Using organization 2
Querying chaincode definition on peer0.org2 on channel 'mychannel'...
Attempting to Query committed status on peer0.org2, Retry after 3 seconds.
+ peer lifecycle chaincode querycommitted --channelID mychannel --name basic
+ res=0
Committed chaincode definition for chaincode 'basic' on channel 'mychannel':
Version: 1.0, Sequence: 1, Endorsement Plugin: escc, Validation Plugin: vscc, Ap
provals: [Org1MSP: true, Org2MSP: true]
Query chaincode definition successful on peer0.org2 on channel 'mychannel'
Chaincode initialization is not required
nikus@ubuntu:~/fabric-samples/test-network$
```

***Фигура 13**. Монтиране на интелигентен договор в канал*

Когато даден институт получи сертификат за притежаван от него нов сорт растение, чрез GeneBankValidator, той запазва част от семената за дългосрочно съхранение, а останалите ги въвежда в системата за продажба.

За достъп до съответния канал, се изпраща заявление до системата „GeneBankStore“. Генбанката предоставя разрешение на конкретната организация да се присъедини към съответния канал като системата предоставя публичен и частен ключ, като кореспондираща двойка, на съответния участник, чрез които може да подписва трансакции. На Фиг.14. е представена реализация на процеса за създаване на потребител и портфейл.

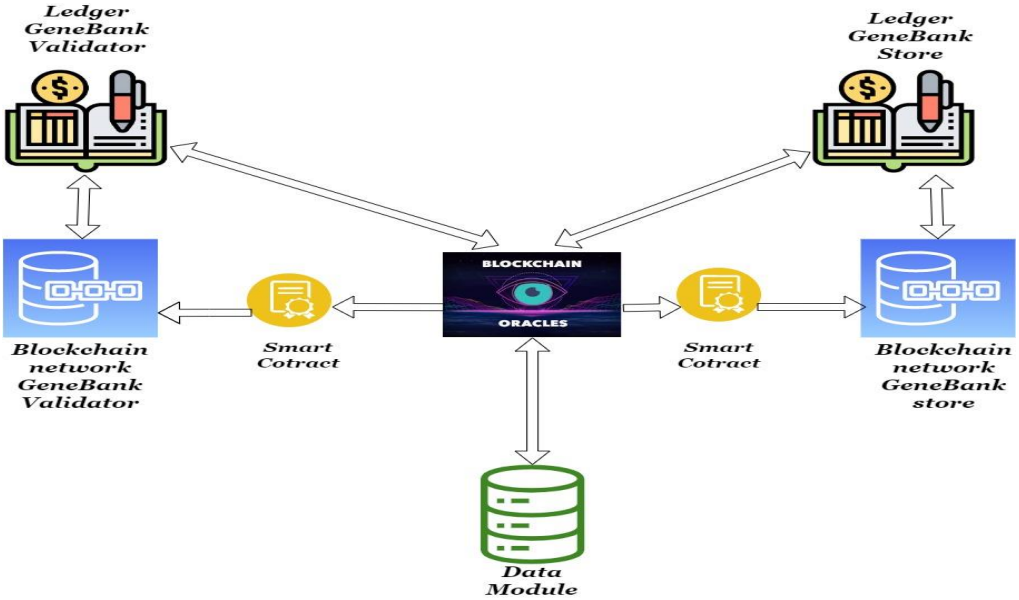
```
fabric@ubuntu:~/hyperledger/fabric-samples/fabcar/javascript$ node enrollAdmin.js
Wallet path: /home/fabric/hyperledger/fabric-samples/fabcar/javascript/wallet
Successfully enrolled admin user "admin" and imported it into the wallet
```

***Фигура 14**. Създаване на потребител и портфейл*

В каналът за продажба на семена, семепроизводителите избират кой сорт ще размножават и изпращат искане, чрез трансакция, към съответния институт, който го притежава. След получаване на трансакцията се сключват smart contract, между института част от Генбанката и семепроизводителя, чрез който вторият се ***задължава да отглеждат сорта по точно определена технология***. След извършване на съответната логистика и плащане, чрез Supply chain нивото, което е моделирано в следващата глава, институтът изпраща трансакция, подписана от съответния частен ключ, чрез която прехвърля собствеността върху семената на съответния семепроизводител. Заедно с документалното прехвърляне на семената, системата генерира сертификат за доказване на произход, като заедно с това се предоставя технология за отглеждане.

Тъй като GeneBankStore се разработва като мултиагентна система, дефинираме три типа агенти**:**

Blockchain Oracle – това е интелигентен агент, който служи за прехвърляне на информационно съдържание от ledgers на различните канали в блоковата вериги в DataModule. Неговата околна среда се състои от ledger на GeneBank Validator, ledger от GeneBank Store и Data Module, всички намиращи се на системния сървър, както е показано на Фиг.15. При промяна в околната му среда, т.е обновяване на информацията в някой от ledgers, които наблюдава, той реагира и записва информацията в Data Module на сървъра, който е част от GeneBankStore.



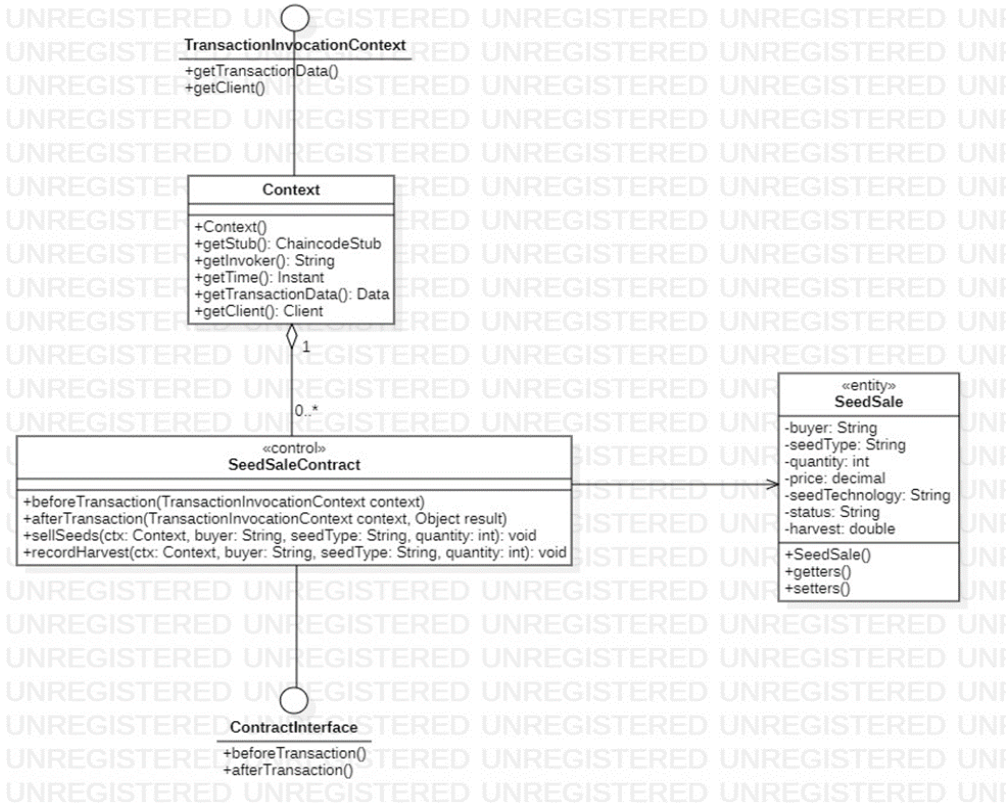
***Фигура 15**. Околна среда на ВО*

PAGen – персонален асистент, подпомагащ представителите на Институтите, които ще обработват заявките в GeneBank Store от името на Института. Околната среда на този асистент е Data Module. След като оракулът запише информацията в DM от ledger на GeneBankValidator, т.е създаден е нов генетичен екземпляр, съответният PAGen реагира и информира представителя на този Институт, който ще оперира в магазина, за необходимостта да въведе количество, което може да продаде, от дадения Актив, както и допълнителна информация за начина на отглеждане, график за поливане и торене и др.

PAClient – персонален асистент, подпомагащ клиентите на GeneBankStore, в отглеждането на закупеният от него вид. Този персонален асистент се генерира в момента, в който даден потребител се регистрира, приемайки неговия публичен ключ за личен идентификатор. Неговата околна среда се състои от Data Module в GeneBankStore След като клиент придобие дадени семена, чрез някой от трите канала в Blockchain GeneBankStore, оракулът прехвърля информацията от съответния ledger в DM – публичния ключ на потребителя, както и конкретния Актив, който е закупил. При промяна в DM, PAClient реагира, обновявайки своята база знания. Той започва да следи графика за отглеждането на съответния сорт растение. Всеки асистент извършва превенция, т.е преди да настъпи дадено събитие в отглеждането на съответния екземпляр – поливане, пръскане, торене, той известява клиента да се подготвя за това събитие. Също така, когато настъпи време за прибиране на реколтата, PAClien може да върне обратна информация до представителя на съответния Институт, чрез неговия PAGen какъв е получения добив и при какви условия се е отглеждало растението.

Персоналният асистент е обвързан не само с публичния ключ на съответния потребител, а и с информация за възела. Ако потребителят вече не е възел в системата, той няма да получава информация от своя персонален асистент.

Както споменахме, заедно със закупуването на семената, всеки семепроизводител получава и точна технология на тяхното отглеждане (рецепта) – кога е необходимо да се тори, какви са минимални стойности на влажност, максималните на окисляване на почвата и т.н. Използвайки изградена инфраструктура от IoT, всеки фермер започва да събира данни от различните сензори-за температура на въздуха, окисляване, влажност на почвата и други. Тези данни могат да се съхраняват на локално ниво и в облак. Целта е те да се анализират, да се направят изводи и да се използват, за да се вземат интелигентни решения за отглеждане на съответната култура. Class диаграма на интелигентният смарт договор в канала за продажби е представена на Фигура 16.



Фигура 16 *Class диаграма на интелигентен договор в канала за продажба*

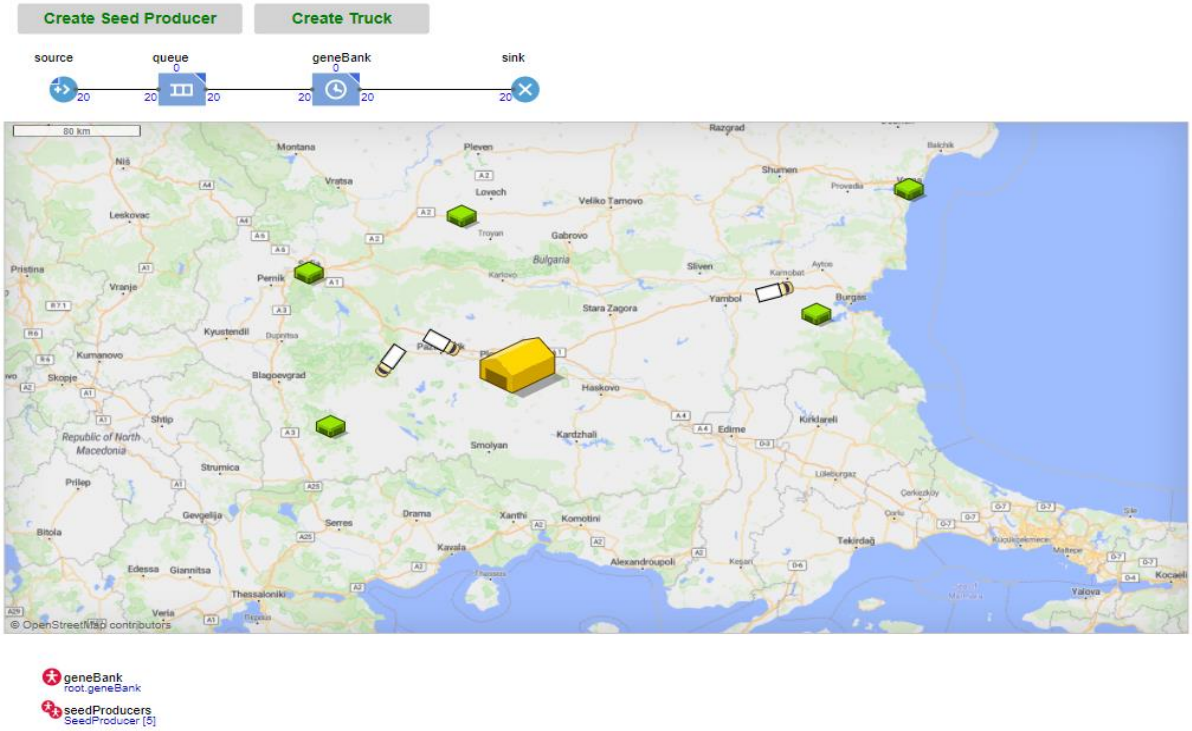
SeedSale класът включва данни за продажба на семена като: купувач, вид семе, което се закупува, количество, цена, технология на отглеждане, получен добив от купувача и статус.

Класът **SeedSaleContract** е интелигентен договор за Hyperledger Fabric. Той имплементира интерфейс **ContractInterface**, чрез който се предоставя необходимата функционалност за интеграция в Hyperledger Fabric Blockchain. Методът **sellSeeds()** се използва за продажба на семена на купувача. Получавайки продукция, в края на жизнения цикъл на съответния сорт, купувачът записва добива, който е произвел, използвайки метод **recordHarvest** на своя умен договор SeedSaleContract. Когато SeedSale се обнови в ledger, тогава интелигентният договор се счита за приключен.

Context класът се използва от Hyperledger Fabric Java SDK и предоставя множество възможности за управление на трансакциите в Hyperledger Fabric Blockchain, имплементирайки интерфейс **TransactionInvocationContext**. Чрез методът **getStub(),** който връща **ChaincodeStub**, се предоставя достъп до методи за взаимодействие с ledger. Методът **getInvoker()** връща информация за извикващата станция (потребител) на текущата трансакция. Методът **getTime()** връща текущата времева марка на блока.

Получавайки продукция в края на жизненият цикъл на съответния сорт, семепроизводителят информира Генбанката какъв добив е получил и изпраща доказателства за спазването на технологията за отглеждане. Тогава се приема интелигентният договор за приключен.

AnyLogic [2] е мощна платформа за симулация и моделиране на събития и мулти-агентни системи, която се използва за създаване и анализ на различни видове симулации. Системата е разработена от компанията AnyLogic и е популярен инструмент в областта на операционния и бизнес симулационен софтуер. Чрез софтуерът AnyLogic моделирахме сценария, в който различните семепроизводители извършват покупка на семена от GeneBank store и при отправена заявка се придвижва стоката до тях. На Фиг.17 се вижда този процес след компилиране и пускане. В горният ляв ъгъл се вижда колко поръчки са направени и колко са изпълнени.



Фигура 17. *Прототипен модел на система за доставка в GeneBank магазина*

Изводи от Трета глава

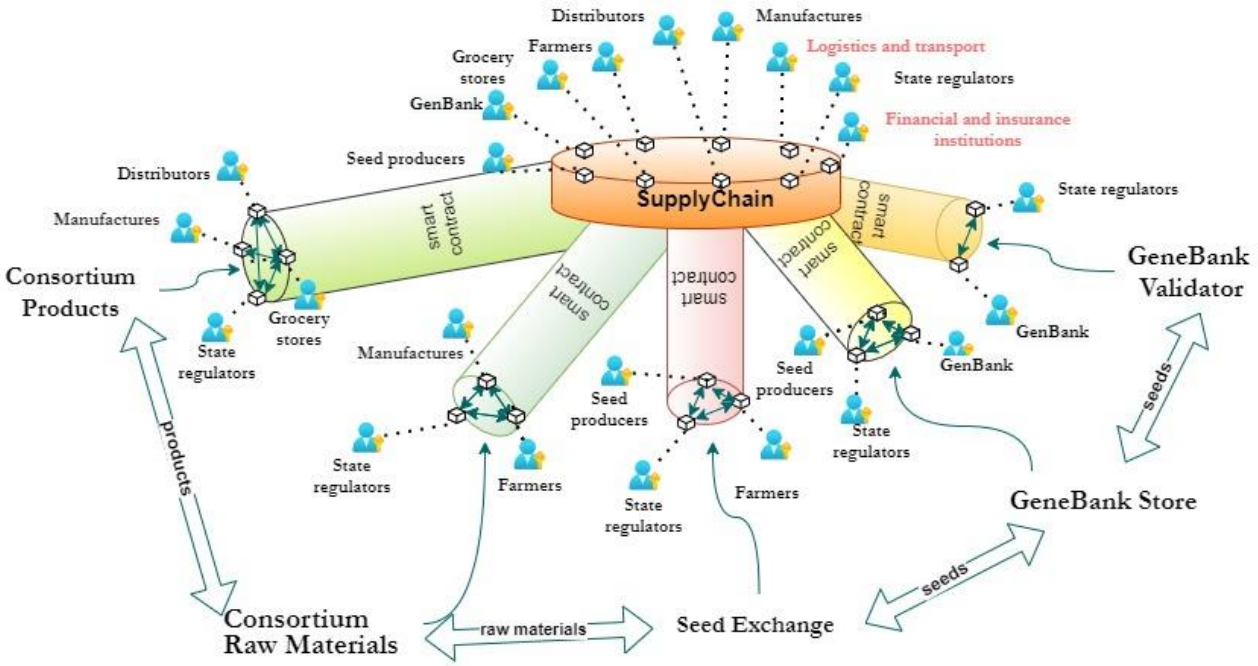
1. Представеният модел на блокчейн синхронизация с персонални асистенти CPSS –базирана ViPS адаптация за интелигентно земеделие дава възможност за реализация на услуги и сценарии, изискващи по-висока степен на сигурност, доверие и цялостност.

2. Разработените прототипи потвърждават приложимостта на блокчейн-базираната интеграция с агентите в разглежданата мултиагентна среда.

ГЛАВА 4. ИДЕЙНИ МОДЕЛИ И БЪДЕЩИ ПЛАНОВЕ

През 80-те години на XX век като разширение на логистичната концепция се появява концепцията „**Supply-chain management**" разглеждана като интеграция на всички дейности, свързани с протичането на трансформацията на продуктите от суровини и материали в стоки за крайния потребител, както и на свързаните с това информационни потоци с цел постигане на устойчиво конкурентно преимущество. Използването на Blockchain технологиите в изграждането на снабдителни вериги може да спомогне за лесното им менажиране, предоставяйки ни сигурност и проследимост на данните [18].

В тази част накратко се описва един модел на верига за доставки, чрез използване на блокчейн технологиите, която ще разглежда процеса от получаването на семето от българската Генбанка, до неговата реализация. Участници във веригата за доставка са:GeneBank, Семепроизводители, Фермери, производители на крайни продукти, логистика и транспорт, финансови и застрахователни институции, дистрибутори и държавни регулатори. В модела са дефинирани пет различни канала на снабдителната верига, в които се ***добавя стойност*** към продукта (виж Фиг.18*):*



Фигура 18*. Блокчейн канали на снабдителната верига*

Снабдителната верига се предвижда да бъде изградена, чрез използване на различни комуникационни канали, базирани върху Hyperledger Fabric технологията. Желаната системна логика ще бъде реализирана с помощта на интелигентни договори, които представляват самоизпълним компютърен код, давайки възможност за обмен на активи между участниците, без да е необходим посредник. В него са посочени всички условия на сделката и ако участниците ги изпълнят, автоматично получават необходимото.

Всеки регистриран потребител в някои от каналите на Blockchain ще получи собствен публичен и частен ключ, за проверка и подписване на трансакции. Всички обработени, изпратени и получени заявки, в зависимост от логиката в съответния канал, се проверяват за формална и семантична коректност и оторизация от системата. Всички валидни трансакции се окомплектоват в блок и се

записват към блоковата верига на съответния канал. След валидиране на блока се обновяват дистрибутираните регистри на възлите с новите данни. Освен представените в глава 3 канали GenBank Validator и GenBank Store, в тази глава се представя описание на останалите канали, принадлежащи към веригата за доставка: Seed Exchange канал; Consortium Raw Materials и Consortium Products.

Адаптациите на ViPS в **областта на туризма** [5] и „умен град“ [19] също поставят въпроси, свързани с необходимостта от блокчейн-синхронизация с персонални асистенти. Разгледан е модел за синхронизация на блокчейн верига за производство и разпространение на вино с разработвания от екипа Персонален туристически екскурзовод- ПТЕ. При реализацията на тази услуга се използва синхронизация на блоковата верига за гарантиране произхода на бутилката вино с ПТЕ на потребителя. За осигуряването на разнообразие от туристически услуги в [26] е разгледан още един модел за блокчейн синхронизация с ПТЕ. При адаптирането на референтната ViPS архитектура за разработка на интелигентна туристическа CPSS платформа често се налага работа в интегрирани домейни . Разработен е базов сценарий на услуга за конен спорт в тази система, реализирана чрез блокчейн-базирана синхронизация с ПТЕ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дисертацията е представено изследване за създаване на концепция и моделиране на блокчейн-базирана синхронизация с персонални асистенти. В разработените модели информацията е структурирана по подходящ начин, така че да може да бъде използвана за решаване на различни задачи изискваща интеграция на блокчейн технологиите в мултиагентна кибер-физическа система. Разгледана е референтната ViPS архитектура и са предложени няколко нейни адаптации за средното училище и интелигентното земеделие. Споделени са някои допълнителни идейни модели за преложение на разработения подход на синхронизация в областта на веригите за доставки, свързани с националната Генбанка и са очертани планове за бъдещи изследвания.

Основни задачи решени в дисертационното изследване

Задача 1. Направено е проучване на различни аспекти и подходи в развитието на Blockchain технологиите, на базата на което е създадена обща концепция за тяхното използване при синхронизиране на информацията, така че персоналните асистенти да могат да я използват.

Задача 2. Създадени са модели за приложение на тази концепция при адаптацията на референтната ViPS архитектура в сферите на образованието и интелигентното земеделие.

Задача 3. Създадени са прототипи за тестване приложението на тези модели в областта на средното образование и интелигентното земеделие.

Резултати от научното изследване

При изпълнението на задачите за постигане на основните цели можем да определим следните актуални резултати (приноси) от научното изследване:

1. Създадена е обща концепция за блокчейн- синхронизиране на информацията и взаимодействието с персонални асистенти в рамките на киберфизическа мултиагентна система.

2. Създадени са конкретни модели за приложение на разработената концепция при адаптацията на референтната ViPS архитектура в сферите на образованието и интелигентното земеделие.
3. Създадени са прототипи, чрез които да се тества приложението на разработените модели.

Връзката между резултатите, задачите, структурата на дисертацията и публикациите, участващи в процедурата са представени в следната таблица.

Задача	Резултат/Принос	Глава	Публикации
1	1	1	1, 2
2	2	2, 3, 4	1, 2, 3, 4
3	3	2, 3	1, 3

Планове за бъдещо развитие

Въз основа на проведените изследвания, могат да бъдат формулирани следните планове за бъдещо развитие:

1. Разработеният модел на интелигентна среда за средното училище дава възможност да се твърди, че е възможна синхронизация между представените в Глава 2 „Системата за документи с фабрична номерация“ и „Системата за електронен училищен дневник“.
2. Създаване на прототипи на блокчейн каналите на представеният в настоящата глава модел за верига за доставки на семена и образци от националната Генбанка.
3. Разработените модели на блакчейн синхронизация с Персоналния туристически екскурзовод дават възможност за разработка на прототипи на услуги в мултиагентна CPSS – базирана туристическа платформа.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Резултатите от работата по изследването на дисертацията са публикувани в следните списания, рецензирани публикации и реферирани конференции:

1. J. Todorov, **I. Krasteva**, V. Ivanova, E. Doychev, BLISS-A CPSS-LIKE APPLICATION FOR LIFELONG LEARNING“, 2019 IEEE International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), DOI: 10,1109/INISTA.2019.8778363, (***IEEE, Scopus)***
2. **Krasteva, I.,** Glushkova, T., Stoyanova-Doycheva, A., Moralivska, N., Doukovska, L. and I. Radeva, BLOCKCHAIN-BASED APPROACH TO SUPPLY CHAIN MODELING IN A SMART FARMING SYSTEM, 2021 Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/BdKCSE53180.2021.9627309. ISBN:978-1-6654-1042-7 (***Scopus***)
3. **Krasteva I. K.,** Glushkova T. A., Stoyanov S. N., MODELING AND DEVELOPMENT OF A MULTI-AGENT SPACE FOR THE SECONDARY SCHOOL. Informatics and education. 2020; vol. 4, pp. 53-62, ISSN 0234-0453, https://doi.org/10.32517/0234-0453-2020-35-4-53-62, https://info.infojournal.ru/jour/article/view/536
4. Tabakova-Komsalova, V., **Krasteva, I.,** Glushkova, T. BLOCKCHAIN BASED MODEL FOR DOCUMENT PROCESSING WITH FACTORY NUMBERING IN SECONDARY SCHOOL, Education and Technologies, vol.10/ 2019, issue 1, 113-119, ISSN 1314-1791 (Print), DOI: http://doi.org/10.26883/2010.191.1479

РЕФЕРИРАНИ ИЗТОЧНИЦИ

[1] Akundi, A., Euresti, D., Luna, S., Ankobiah, W., Lopes, A., & Edinbarough, I. (2022). State of Industry 5.0—Analysis and identification of current research trends. Applied System Innovation, 5(1), 27.

[2] Borshchev, A. (2014). Multi-method modelling: AnyLogic. Discrete-Event Simulation and System Dynamics for Management Decision Making, 248-279.

[3] Drescher D., Blockchain basics a non-technical introduction in 25 steps, Frankfurt am Main, Germany ISBN-13 (pbk): 978-1-4842-2603-2 ISBN-13 (electronic): 978-1-4842-2604-9 DOI 10.1007/978-1-4842-2604-9, Apress, (2017).

[4] Glushkova, T. Stoyanov, S., Krasteva, I., Tabakova-Komsalova, V., Intelligent school educational environment for distance and blended learning, Katowice, Poland (to print in the monograph "E-learning and STEM Education", ISSN 2451-3644 (print edition), ISSN 2451-3652 (digital edition), ISBN: 978-83-66055-05.

[5] Glushkova, T., Miteva, M., Stoyanova-Doycheva, A., Ivanova, V., Stoyanov, S. Implementation of a Personal Internet of Thing Tourist Guide, American Journal of Computation, Communication and Control, Publication Date: May 10, 2018, Pages: 39-51, ISSN 2375-3943.

[6] Glushkova, T., Stoyanov, D., VIRTUALIZATION AND MODELING OF SERVICES IN A SCHOOL EDUCATIONAL PLATFORM, Proceeding book from 5th International African Conference on current studies, ed. Dr. Sheeba S. A., Samira K.O., February 2-5, 2022, Cairo, Egypt, ISBN: 978-625-7464-76-5, pp. 263-270

[7] Glushkova, T., Stoyanova-Doycheva, A.(2022). An approach to modeling of smart agricultural services and scenarios, 2022 IEEE 11th International Conference on Intelligent Systems (IS), Warsaw, Poland, 2022, pp. 1-8, doi: 10.1109/IS57118.2022.10019723..

[8] Huang, H., J. Lin, B. Zheng, Z. Zheng, and J. Bian, When blockchain meets distributed file systems: An overview, challenges, and open issues, IEEE ACCESS, vol. 8, pp. 50 574–50 586, March 2020.

[9] Kan, L., Wei, Y., Hafiz Muhammad, A., Siyuan, W., L. C. Gao, and H. Kai, ''A multiple blockchains architecture on inter-blockchain communication,'' in Proc. IEEE Int. Conf. Softw. Qual., Rel. Secur. Companion (QRSC), Jul. 2018, pp. 139–145.

[10] Karamitsos, I. et al. "Design of the Blockchain Smart Contract: A Use Case for Real Estate." Journal of Information Security 09 (2018): 177-190.

[11] Khalid, R., Samuel, O., Javaid, N., Aldegheishem, A., Shafiq, S. and N. Alrajeh, "A Secure Trust Method for Multi-Agent System in Smart Grids Using Blockchain," in IEEE Access, vol. 9, pp. 59848-59859, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3071431.

[12] Krasteva, I., Glushkova, T., Moraliyska, N., Velcheva, N., a Blockchain-based model of genbank store system, 2020 IEEE 10th International Conference on Intelligent Systems (IS), Varna, Bulgaria, 2020, pp. 606-611, https://doi.org/10.1109/IS48319.2020.9200133

[13] Krasteva, I., Glushkova, T., Stoyanova-Doycheva, A., Moralivska, N., Doukovska, L. and I. Radeva, "Blockchain-based approach to supply chain modeling in a smart farming system," 2021 Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/BdKCSE53180.2021.9627309. ISBN:978-1-6654-1042-7

[14] Moritz P., McBurney, P. Sybil in the Haystack: A Comprehensive Review of Blockchain Consensus Mechanisms in Search of Strong Sybil Attack Resistance", Algorithms, 16(1), pp.34, 2023.

[15] National Science Foundation (US), https://www.nsf.gov/pubs/2008/nsf08611/nsf08611.htm, посетен на 20.02.2023

[16] Nguyen G. and Kim, K. “A survey about consensus algorithms used in blockchain.” Journal of Information processing systems, vol. 14, no. 1, 2018.

[17] Pilkington M., Blockchain technology: principles and application, Research Handbook on Digital Transformations, Editors: Xavier Olleros, F., Majlinda Zhegu, Edward Elgar Publishing, pp. 225-264 (2016)

[18] Radeva, I. and Popchev, I. "Blockchain-Enabled Supply-Chain in Crop Production Framework" Cybernetics and Information Technologies, vol.22, no.1, 2022, pp.151-170. https://doi.org/10.2478/cait-2022-0010

[19] Stoyanov, S., Glushkova, T., Stoyanova-Doycheva, A., Ivanova, V. A Reference Architecture Supporting Smart City Applications, Lecture Notes in Business Information Processing, Volume 353, 2019, Pages 463-474, ISSN: 18651348, ISBN: 978-303020484-6.

[20] Stoyanov, S., Stoyanova-Doycheva, A., Glushkova, T., Doychev, E. Virtual Physical Space – An Architecture Supporting Internet of Things Applications, 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA) DOI: 10.1109/SIELA.2018.8447156, https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8447156.

[21] Stoyanov S., Glushkova T., Popchev I., Doukovska L. (2022) Virtualization of Things in a Smart Agriculture Space. In: Sgurev V., Jotsov V., Kacprzyk J. (eds) Advances in Intelligent Systems Research and Innovation. Studies in Systems, Decision and Control, vol 379. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78124-8_16.

[22] Todorov, J. Krasteva, I., Ivanova, V., Doychev, E., BLISS-A CPSS-like Application for Lifelong Learning“, 2019 IEEE International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), DOI: 10,1109 / INISTA.2019.8778363 - https://ieeexplore.ieee.org/document/8778363

[23] Wang, G., Z. J. Shi, M. Nixon, and S. Han, “Sok: Sharding on blockchain,” in Proceedings of the 1st ACM Conference on Advances in Financial Technologies (AFT’19), 2019, pp. 41–61.

[24] Zyskind, G., Nathan, Oz., Alex 'Sandy' Pentland, Decentralizing Privacy: Using Blockchain to Protect Personal Data, DOI: 10.1109/SPW.2015.27 , ISBN: 978-1-4799-9933-0, 2015 IEEE Security and Privacy, pp.180-184, 2015.

[25] Официален сайт на Hyperledger Fabric: https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.5/, посетен на 03.12.2023г.

[26] Стоянов, И. Кръстева, И., Тодоров, Й., Русев, К., Персонален туристически екскурзовод в интегрирани домейни, V-та Национална научна конференция с международно участие – TechCo 2021, Ловеч, 2-3 юли 2021г., ISSN 2535-079X, стр. 91-96.

[27] Глушкова, Т., Русев, К., Тодоров, Й., Стоянов, С., Пространствените аспекти при моделирането на интелигентен град Ловеч, Сборник научни доклади от Национална научна конференция TechCo’21, 2-4.07.21, Ловеч, https://www.tugab.bg/images/documents/Techko-Lovech-2021.pdf, ISSN 2535-079X, 116-122.

[28] Табакова–Комсалова, В., Кръстева, И., Глушкова, Т. Блокчейн-базиран модел за обработка на документация с фабрична номерация в средното училище, EduTech- Education and Technologies, vol.10/ 2019, issue 1, 113-119, ISSN 1314-1791 (Print), DOI: http://doi.org/10.26883/2010.191.1479.

[29] Тодоров, Й., Дисертационен труд „Изграждане на персонални асистенти във Виртуално Образователно Пространство“, защитена във ФМИ на ПУ “П. Хилендарски“ на 22.12.2020.

[30] Тодоров, Й., Кръстева, И. „Персонален асистент за подпомагане на учебния процес в средните училища“, сп. TechCo – Lovech 2019, vol.2, 217–222, ISSN 2535-079X, 2019