

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta informatiky a informačných technológií

FIIT-0000-00000

Bc. Dávid Sebastián Wagner

Aplikácia Blockchainu v Zdravotníctve

Výskumný zámer

Vedúci práce: Ing. Kristián Košťál, PhD.

Máj, 2022

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta informatiky a informačných technológií

FIIT-0000-00000

Bc. Dávid Sebastián Wagner

Aplikácia Blockchainu v Zdravotníctve

Výskumný zámer

Študijný program:	Informatika
Študijný odbor:	Informatika
Miesto vypracovania:	Ústav počítačového inžinierstva a aplikovanej informatiky
Vedúci práce:	Ing. Kristián Košťál, PhD.
Máj, 2022	

Anotácia

Slovenská technická univerzita v Bratislave

FAKULTA INFORMATIKY A INFORMAČNÝCH TECHNOLOGIÍ

Študijný program: Informatika

Diplomová práca: Aplikácia Blockchainu v Zdravotníctve

Autor: Bc. Dávid Sebastián Wagner

Vedúci práce: Ing. Kristián Košťál, PhD.

Máj, 2022

Technológia blockchain má potenciál spôsobiť revolúciu v odvetví zdravotnej starostlivosti zvýšením bezpečnosti údajov, zlepšením interoperability a umožnením účinnejších a efektívnejších služieb zdravotnej starostlivosti.

Jednou z potenciálnych aplikácií blockchainu v zdravotníctve je použitie decentralizovaných účtovných kníh na bezpečné ukladanie a správu zdravotných záznamov pacientov. Keďže technológia blockchain je vo svojej podstate bezpečná a decentralizovaná, môže poskytnúť bezpečnejší a efektívnejší spôsob ukladania a prístupu k citlivým lekárskeým údajom. Môže to pomôcť zabrániť narušeniu údajov a neoprávnenému prístupu k osobným zdravotným informáciám pacientov a zároveň uľahčiť poskytovateľom zdravotnej starostlivosti prístup a zdieľanie dôležitých lekárskeých informácií.

Ďalšou potenciálnou aplikáciou blockchainu v zdravotníctve je použitie smart contract-ov na automatizáciu vykonávania transakcií súvisiacich so zdravotníckymi službami. Smart contract-y sú samovykonateľné zmluvy, pričom podmienky dohody medzi kupujúcim a predávajúcim sú priamo zapísané do riadkov kódu. V zdravotníctve by sa smart contract-y mohli použiť na automatizáciu platieb lekárskeých účtov, distribúciu poisťných platieb a vykonávanie iných finančných transakcií súvisiacich so zdravotníctvom. To by mohlo pomôcť znížiť náklady a zložitosť administratívy zdravotnej starostlivosti a zároveň uľahčiť pacientom prístup k službám, ktoré potrebujú.

Celkovo má aplikácia blockchain technológie v zdravotníctve potenciál zlepšiť bezpečnosť, interoperabilitu a efektivitu zdravotníckeho priemyslu. Ako sa technológia neustále vyvíja a dozrieva, je pravdepodobné, že budeme

svedkami toho, že čoraz viac zdravotníckych organizácií bude prijímať riešenia založené na blockchaine na zlepšenie kvality a dostupnosti služieb zdravotnej starostlivosti.

Annotation

Slovak University of Technology Bratislava

FACULTY OF INFORMATICS AND INFORMATION TECHNOLOGIES

Study program: Informatika

Master thesis: Application of Blockchain in Healthcare

Author: Bc. Dávid Sebastián Wagner

Supervisor: Ing. Kristián Košťál, PhD.

2022, May

Blockchain technology has the potential to revolutionize the healthcare industry by increasing data security, improving interoperability, and enabling more efficient and effective healthcare services.

One potential application of blockchain in healthcare is the use of decentralized ledgers to securely store and manage patient health records. Because blockchain technology is inherently secure and decentralized, it can provide a more secure and efficient way to store and access sensitive medical data. This can help prevent data breaches and unauthorized access to patients' personal health information, while also making it easier for healthcare providers to access and share important medical information.

Another potential application of blockchain in healthcare is the use of smart contracts to automate the execution of healthcare-related transactions. Smart contracts are self-executing contracts with the terms of the agreement between buyer and seller being directly written into lines of code. In the healthcare industry, smart contracts could be used to automate the payment of medical bills, the distribution of insurance payouts, and the execution of other healthcare-related financial transactions. This could help reduce the cost and complexity of healthcare administration, while also making it easier for patients to access the services they need.

Overall, the application of blockchain technology in healthcare has the potential to improve the security, interoperability, and efficiency of the healthcare industry. As the technology continues to evolve and mature, it is likely that we will see more and more healthcare organizations adopting blockchain-based solutions to improve the quality and accessibility of healthcare services.

Obsah

1	Úvod	1
2	Analýza problematiky	2
2.1	Decentralizovaná dátová výmena	3
2.2	Zdravotné údaje	5
2.2.1	Elektronické zdravotné záznamy	5
2.2.2	Genomické údaje	6
3	Výskumné tézy	8
4	Existujúce riešenia	10
4.1	Ocean Protocol	11
4.2	Zenome	12
	Literatúra	15

Kapitola 1

Úvod

Technológia blockchain je v zdravotníctve dôležitá, pretože ponúka bezpečnú a decentralizovanú platformu na ukladanie a výmenu citlivých lekárskejších informácií. Pomocou blockchainu možno elektronické zdravotné záznamy uchovávať spôsobom, ktorý je bezpečný a odolný voči falšovaniu, a môžu k nim pristupovať autorizovaní poskytovatelia zdravotnej starostlivosti bez potreby ústredného orgánu [11]. To môže výrazne zlepšiť efektívnosť a bezpečnosť systému zdravotnej starostlivosti.

Decentralizované výmeny údajov sú v zdravotníctve nevyhnutné, pretože poskytujú bezpečný a efektívny spôsob správy elektronických zdravotných záznamov a genómových údajov. Tradičné centralizované systémy sú náchylné na narušenia bezpečnosti a môžu byť ťažko dostupné a spravovateľné. Vďaka decentralizovaným výmenám majú pacienti lepšiu kontrolu nad svojimi vlastnými lekárskejšími informáciami a môžu ich jednoduchšie zdieľať s autorizovanými poskytovateľmi zdravotnej starostlivosti [8].

Elektronické zdravotné údaje sa týkajú lekárskejších informácií, ktoré sú uložené elektronicky, ako sú zdravotné záznamy pacienta, výsledky testov a informácie o liečbe. Genomické údaje sa na druhej strane týkajú genetických informácií, ktoré sú jedinečné pre jednotlivca a môžu sa použiť na predpovedanie a diagnostiku zdravotných stavov. Genomické údaje môžu byť obzvlášť užitočné v personalizovanej medicíne, kde sú liečby prispôbované jedinečnému genetickému zloženiu jednotlivca.

Kapitola 2

Analýza problematiky

Zatiaľ čo technológia blockchain má potenciál spôsobiť revolúciu v zdravotníctve, existuje aj množstvo výziev a prekážok, ktoré je potrebné prekonať, aby bola úspešne implementovaná. Niektoré z hlavných výziev a problémov spojených s používaním blockchainu v zdravotníctve zahŕňajú:

1. Regulačné prekážky: Zdravotníctvo je silne regulované a používanie technológie blockchain musí byť v súlade so zložitým súborom pravidiel a nariadení. To môže poskytovateľom zdravotnej starostlivosti sťažiť prijatie blockchainových systémov [12], pretože sa musia orientovať v zložitom regulačnom prostredí a zabezpečiť, aby boli v súlade so všetkými príslušnými zákonmi a nariadeniami. Všeobecné nariadenie o ochrane údajov (GDPR) je nariadenie v práve EÚ, ktoré stanovuje požiadavky na zhromažďovanie, uchovávanie a používanie osobných údajov. Technológia Blockchain, ktorá je decentralizovanou a distribuovanou digitálnou účtovnou knihou, môže byť potenciálne použitá na ukladanie a spracovanie osobných údajov spôsobom, ktorý je v súlade s požiadavkami GDPR. Je však dôležité poznamenať, že jednoduché používanie technológie blockchain neznamená, že systém je automaticky v súlade s GDPR [5]. Aby bol systém založený na blockchaine v súlade s GDPR, musí byť starostlivo navrhnutý a implementovaný tak, aby spĺňal požiadavky nariadenia.

2. Interoperabilita a štandardizácia: Aby bola technológia blockchain v zdravotníctve efektívna, musí byť schopná bezproblémovo spolupracovať

s existujúcimi systémami a procesmi. Nedostatok štandardizácie a interoperability medzi rôznymi blockchainovými platformami a systémami však môže poskytovateľom zdravotnej starostlivosti sťažiť integráciu blockchain technológie do ich existujúcej infraštruktúry [12, 20].

3. Vysoké náklady a zložitosť: Implementácia blockchain systému môže byť nákladná a zložitá, čo si vyžaduje značné investície do technológií a odborných znalostí. To môže pre menších poskytovateľov zdravotnej starostlivosti sťažiť prijatie technológie blockchain a môže obmedziť jej rozšírené prijatie v tomto odvetví [14].

4. Obavy týkajúce sa súkromia a bezpečnosti: Zatiaľ čo technológia blockchain je navrhnutá tak, aby bola bezpečná a chránila súkromie používateľov, stále existujú obavy z možného narušenia údajov a narušenia súkromia [12, 5]. Ak sú napríklad zdravotné záznamy pacienta uložené na blockchaine, neoprávnené osoby môžu potenciálne získať prístup k citlivým informáciám, ak systém nie je správne zabezpečený.

Môžeme povedať, že aj keď sú potenciálne prínosy technológie blockchain v zdravotníctve značné, existuje aj množstvo výziev a prekážok, ktoré je potrebné prekonať, aby mohla byť úspešne implementovaná.

2.1 Decentralizovaná dátová výmena

Decentralizovaná výmena údajov sa vzťahuje na prenos údajov medzi stranami bez potreby ústredného orgánu alebo sprostredkovateľa. To je na rozdiel od tradičných systémov výmeny údajov, ktoré sa zvyčajne spoliehajú na centrálny server alebo sprostredkovateľa na uľahčenie prenosu informácií medzi stranami. V decentralizovanom systéme sú údaje distribuované cez sieť uzlov, z ktorých každý obsahuje kópiu údajov. To umožňuje bezpečnú a transparentnú výmenu údajov bez potreby ústredného orgánu na riadenie a kontrolu toku informácií. Decentralizované systémy sú často bezpečnejšie a odolnejšie voči manipulácii alebo rušeniu, pretože sa nespoliehajú na jediný bod zlyhania. Okrem toho môžu používateľom poskytnúť väčšiu kontrolu nad ich údajmi a znížiť možnosť narušenia súkromia. Ako každá technológia alebo systém, aj decentralizovaná výmena dát má výhody aj nevýhody. Niektoré z hlavných výhod a nevýhod

decentralizovanej výmeny údajov zahŕňajú [9, 15, 8]:

- **Výhody**

- **Vylepšená bezpečnosť:** Decentralizované systémy na výmenu údajov sú zvyčajne bezpečnejšie ako tradičné centralizované systémy, pretože sa nespoliehajú na jediný bod zlyhania. Tým sa znižuje riziko narušenia bezpečnosti údajov a manipulácie a neoprávneným osobám sa sťažuje prístup k citlivým informáciám.
- **Väčšia transparentnosť:** Decentralizované systémy výmeny údajov sú zvyčajne transparentné a umožňujú všetkým stranám zapojeným do výmeny vidieť tok údajov. To môže zlepšiť dôveru a zodpovednosť a uľahčiť odhaľovanie a predchádzanie podvodným alebo škodlivým aktivitám.
- **Zvýšená kontrola:** Decentralizované systémy poskytujú používateľom väčšiu kontrolu nad ich údajmi, pretože sa nemusia spoliehať na centrálnu autoritu pri riadení a kontrole toku informácií. To môže posilniť používateľov a poskytnúť im väčšiu kontrolu nad tým, kto má prístup k ich údajom.

- **Nevýhody**

- **Chýbajúca štandardizácia:** Decentralizované systémy výmeny údajov nepodliehajú rovnakým normám a nariadeniam ako centralizované systémy, čo môže sťažiť zabezpečenie interoperability a kompatibility medzi rôznymi systémami.
- **Zložitosť:** Decentralizované systémy môžu byť zložité a ťažko pochopiteľné, v dôsledku čoho sú pre niektorých používateľov nedostupné. To môže obmedziť ich široké prijatie a používanie.
- **Škálovateľnosť:** Decentralizované systémy môže byť ťažké škálovať, pretože sa spoliehajú na sieť uzlov na ukladanie a správu údajov. To môže sťažiť spracovanie veľkých objemov údajov alebo vysokej úrovne prevádzky.

2.2 Zdravotné údaje

Genomické údaje a zdravotné záznamy sú dva rôzne typy informácií, ktoré sa používajú v zdravotníctve. Genomické údaje sa týkajú genetických informácií jednotlivca, vrátane ich sekvencie DNA, génovej expresie a iných genetických charakteristík. Tieto údaje sa používajú na pochopenie genetickej výbavy jednotlivca a na identifikáciu potenciálnych genetických rizikových faktorov pre rôzne choroby.

Naproti tomu zdravotné záznamy sú súborom informácií o zdravotnom stave jednotlivca, vrátane jeho anamnézy, súčasných a minulých stavov, liekov, alergií a ďalších relevantných informácií. Zdravotné záznamy používajú lekári a iní poskytovatelia zdravotnej starostlivosti na poskytovanie starostlivosti a liečby pacientom a na sledovanie ich zdravotného stavu v priebehu času.

Aj keď sú genomické údaje aj zdravotné záznamy v odvetví zdravotnej starostlivosti dôležité, slúžia na rôzne účely a poskytujú rôzne typy informácií. Genomické údaje sa používajú na pochopenie genetického zloženia jednotlivca a identifikáciu potenciálnych genetických rizikových faktorov, zatiaľ čo zdravotné záznamy sa používajú na poskytovanie starostlivosti a liečby pacientom. Okrem toho sa genómové údaje zvyčajne ukladajú a spravujú pomocou špecializovaných systémov, zatiaľ čo zdravotné záznamy sa zvyčajne uchovávali a spravujú pomocou systémov elektronických zdravotných záznamov. Zatiaľ čo genomické údaje a zdravotné záznamy sú v odvetví zdravotnej starostlivosti dôležité, ide o odlišné typy informácií s rôznym využitím a aplikáciami.

2.2.1 Elektronické zdravotné záznamy

Ukladanie a správa elektronických zdravotných záznamov (EZZ) na blockchaine zahŕňa vytvorenie decentralizovanej a nemennej digitálnej účtovnej knihy, ktorá dokáže bezpečne ukladať a spravovať informácie o zdravotnom stave pacienta. Dá sa to dosiahnuť pomocou rôznych blockchainových platforiem a technológií, ako sú systémy blockchainu s povolením alebo bez povolenia a verejné alebo súkromné siete [5].

Za účelom ukladania a správy EZZ na blockchaine je potrebné vykonať

nasledujúce kroky:

1. Výber blockchainovej platformy: Prvým krokom je výber blockchainovej platformy, ktorá je vhodná na ukladanie a správu EZZ dát. To bude závisieť od konkrétnych požiadaviek a potrieb poskytovateľa zdravotnej starostlivosti a môže si vyžadovať použitie povoleného alebo bez povolenia blockchainu a verejnej alebo súkromnej siete.

2. Výber digitálnej účtovnej knihy: Ďalším krokom je vytvorenie digitálnej účtovnej knihy na vybranej blockchain platforme. Táto účtovná kniha sa bude používať na ukladanie a správu údajov EZZ a bude distribuovaná cez sieť uzlov, ktoré tvoria blockchain.

3. Definícia dátovej štruktúry: Musí byť definovaná dátová štruktúra pre dáta EZZ, vrátane typov dát, ktoré budú uložené, a formátu, v akom budú uložené. Tým sa zabezpečí, že údaje budú usporiadané a budú ľahko prístupné a spravované.

4. Uloženie EZZ: Po definovaní štruktúry údajov možno údaje EZZ uložiť na blockchain. To môže zahŕňať použitie smart contract-ov na automatizáciu procesov ako je validácia údajov a kontrola prístupu.

5. Správa a aktualizácia záznamov: Uložené údaje EZZ budú musieť byť spravované a aktualizované v priebehu času, pretože sa menia zdravotné informácie pacientov. To si bude vyžadovať používanie bezpečných a transparentných procesov, aby sa zabezpečilo, že údaje zostanú presné a aktuálne.

Ukladanie a správa EZZ na blockchaine zahŕňa množstvo krokov a úvah a môže vyžadovať použitie špecializovanej technológie a odborných znalostí.

2.2.2 Genomické údaje

Sekvenovanie genómu sa týka procesu stanovenia kompletnej sekvencie DNA genómu jednotlivca. Tento proces zahŕňa identifikáciu poradia nukleotidov (A, C, G a T), ktoré tvoria DNA jednotlivca, a môže poskytnúť dôležité informácie o genetickej výbave jednotlivca a potenciálnych genetických rizikových faktoroch pre rôzne choroby [13].

Technológia Blockchain je na druhej strane decentralizovaná a nemenná digitálna účtovná kniha, ktorú možno použiť na bezpečné ukladanie a správu

údajov. Využitie technológie blockchain pri sekvenovaní genómu môže poskytnúť niekoľko výhod, ako je vylepšená bezpečnosť údajov a súkromie, možnosť jednotlivcov kontrolovať, kto má prístup k ich genomickým údajom, a možnosť automatizovať určité procesy pomocou inteligentných zmlúv [18].

Jednou z potenciálnych aplikácií technológie blockchain pri sekvenovaní genómu je vytvorenie decentralizovanej a nemennej digitálnej účtovnej knihy na ukladanie a správu genomových údajov. Táto účtovná kniha by mohla byť distribuovaná cez sieť uzlov a mohla by sa použiť na bezpečné ukladanie a správu genomových údajov jednotlivcov. Použitie technológie blockchain týmto spôsobom by mohlo poskytnúť lepšiu bezpečnosť a súkromie pre genomické údaje a mohlo by jednotlivcom umožniť kontrolovať, kto má prístup k ich genomickým údajom [6]. Okrem toho by používanie smart contract-ov na platforme blockchain mohlo automatizovať niektoré procesy ako je prístup k údajom a platby, a mohlo by zlepšiť efektívnosť a presnosť sekvenovania genómu.

Použitie technológie blockchain má pri sekvenovaní genómu potenciál poskytnúť lepšiu bezpečnosť a súkromie pre genomické údaje.

Kapitola 3

Výskumné tézy

Decentralizovaná výmena údajov v zdravotníctve a v genómovom priemysle má niekoľko potenciálnych výhod. Po prvé, môžu pomôcť zaistiť, že citlivé osobné zdravotné informácie budú uchovávané v bezpečí a súkromí. Decentralizované systémy totiž nepodliehajú rovnakým zraniteľnostiam ako centralizované systémy, na ktoré sa hackeri môžu ľahšie zamerať.

Decentralizovaná výmena údajov môže navyše umožniť efektívnejšie zdieľanie údajov medzi rôznymi poskytovateľmi zdravotnej starostlivosti a výskumníkmi. To môže pomôcť urýchliť vývoj nových liečebných postupov a terapií a zlepšiť celkovú kvalitu zdravotnej starostlivosti.

Decentralizované výmeny údajov môžu tiež pomôcť znížiť náklady spojené so zdieľaním a ukladaním údajov. Umožnením používania technológie blockchain môžu decentralizované výmeny údajov poskytnúť bezpečnú, decentralizovanú platformu na ukladanie a zdieľanie údajov bez potreby drahých centralizovaných serverov alebo úložných systémov.

Celkovo má využitie decentralizovanej výmeny údajov v zdravotníctve a genómovom priemysle potenciál zlepšiť bezpečnosť, efektívnosť a nákladovú efektívnosť zdieľania a ukladania údajov, čo môže byť v konečnom dôsledku prínosom pre pacientov a systému zdravotnej starostlivosti ako celku.

Vo výskumnej časti práce sa chcem venovať zodpovedaniu niekoľkých nasledujúcich otázok pre tvorbu decentralizovanej dátovej burzy s EZZ a genómovými dátami.

- Aké sú potenciálne výhody a nevýhody využívania decentralizovaných výmen údajov pre EZZ a genomické dáta?
- Ako umožnené zdieľanie EZZ a genomických dát medzi organizáciami a jednotlivcami spôsobom, ktorý je bezpečný a efektívny?
- Aké sú výzvy a prekážky prijatia decentralizovanej výmeny údajov v zdravotníctve a ako ich možno prekonať?
- Aké sú potenciálne riziká pre súkromie pacientov a ako ich možno zmierniť?
- Aké sú etické úvahy týkajúce výmen EZZ a genomických dát a ako ich možno riešiť?
- Ako sa decentralizované výmeny údajov porovnávajú s centralizovanými systémami výmeny údajov z hľadiska nákladov, výkonu a škálovateľnosti pre zdravotnú starostlivosť a genomické údaje?
- Ako ich možno navrhnuť na umožnenie vývoja a používania nových techník analýzy údajov a strojového učenia v zdravotníctve a genómovom priemysle?
- Ako je umožnené zdieľanie EZZ a genomických údajov spôsobom, ktorý je v súlade s príslušnými zákonmi a nariadeniami o ochrane súkromia?
- Aké sú súčasné a potenciálne budúce aplikácie decentralizovanej výmeny údajov v oblasti zdravotnej starostlivosti a genomických údajov a ako ich možno využiť na zlepšenie výsledkov pacientov a lekárskeho výskumu?

Kapitola 4

Existujúce riešenia

Existuje množstvo riešení na ukladanie a poskytovanie zdravotných záznamov na decentralizovanej výmene údajov. Niektoré príklady týchto riešení zahŕňajú:

MedRec: MedRec, vyvinutý spoločnosťou MIT Media Lab, je open-source platforma, ktorá využíva technológiu blockchain na ukladanie a správu zdravotných záznamov. Umožňuje pacientom bezpečne zdieľať svoje zdravotné záznamy s lekármi a inými poskytovateľmi zdravotnej starostlivosti a využíva smart contract-y na automatizáciu procesov ako je validácia údajov a kontrola prístupu [7].

Gem Health Network: Gem Health Network je platforma založená na blockchaine, ktorá umožňuje bezpečnú a transparentnú výmenu zdravotných údajov. Umožňuje pacientom kontrolovať, kto má prístup k ich zdravotným záznamom, a využíva smart contract-y na automatizáciu procesov ako je fakturácia za lekársku starostlivosť a riadenie dodávateľského reťazca [19].

Medicalchain: Medicalchain je platforma založená na blockchaine, ktorá umožňuje pacientom bezpečne ukladať a spravovať svoje zdravotné záznamy. Umožňuje pacientom zdieľať svoje informácie s lekármi a inými poskytovateľmi zdravotnej starostlivosti a využíva smart contract-y na automatizáciu procesov ako je validácia údajov a kontrola prístupu [2].

Blockpharma: Blockpharma je platforma založená na blockchaine, ktorej cieľom je zlepšiť transparentnosť a bezpečnosť dodávateľského reťazca liekov. Umožňuje sledovanie a overovanie farmaceutických produktov a využíva

inteligentné zmluvy na automatizáciu procesov ako je kontrola kvality a riadenie dodávateľského reťazca [3].

Filecoin Protocol: Filecoin Protocol je decentralizovaný protokol na ukladanie a zdieľanie dát v distribuovanej sieti. Umožňuje používateľom prenajať si nevyužitý úložný priestor na svojich zariadeniach a získať odmeny za príspevok svojho úložiska do siete [10].

Ocean Protocol: Ocean Protocol je decentralizovaná platforma na zdieľanie a výmenu údajov. Využíva technológiu blockchain na vytvorenie bezpečného a transparentného systému na správu údajov a zahŕňa používanie smart contract-ov na automatizáciu určitých procesov. Platforma je otvorená a interoperabilná a umožňuje bezproblémovú integráciu údajov z rôznych zdrojov a systémov [1].

Zenome: Zenome je decentralizovaný úložný systém pre genomické dáta. Genomický ekosystém založený na blockchaine je decentralizovaný systém, ktorý využíva technológiu blockchain na ukladanie a správu genomických údajov. Genomické dáta jednotlivcov sú uložené na blockchaine, čo umožňuje bezpečnú a transparentnú správu týchto dát [4].

Tieto riešenia využívajú technológiu blockchain na umožnenie bezpečnej a transparentnej výmeny zdravotných údajov a môžu zahŕňať použitie smart contract-ov na automatizáciu určitých procesov.

4.1 Ocean Protocol

Cieľom Ocean Protocol-u je umožniť používateľom zdieľať a speňažiť svoje dátové aktíva a vytvoriť globálne spoločné údaje, ku ktorým môže pristupovať a používať ich ktokoľvek.

Jednou z kľúčových vlastností Ocean Protocolu je použitie decentralizovaných a nemenných digitálnych účtovných kníh. To umožňuje bezpečné a transparentné ukladanie a správu údajov a znižuje manipuláciu a riziko narušenia údajov. Okrem toho Ocean Protocol používa smart contracty na automatizáciu procesov ako je prístup k údajom a platby, čo môže zvýšiť efektivitu a znížiť potenciál chýb.

Cieľom Ocean Protocol-u je odomknúť údaje, aby sme pre používate-

lov údajov dosiahli spravodlivejšie výsledky, pomocou premyslenej aplikácie technológie aj riadenia. Poskytuje novú dátovú ekonomiku, ktorá sa dostane ku každému jednotlivcovi, spoločnosti a zariadeniu, vráti moc vlastníkom dát a umožní ľuďom zachytiť hodnotu z dát. Ocean protokol je spojitým tkanivom medzi AI, dátami a blockchainom.

Compute-to-data rieši kompromis medzi výhodami používania súkromných údajov a rizikami ich odhalenia. Umožňuje, aby boli údaje uchovávané v lokálnych dátových úložiskách, no zároveň umožňuje tretím stranám spúšťať na nich konkrétne výpočtové úlohy, aby získali užitočné výsledky, ako je priemerovanie alebo vytváranie modelu umelej inteligencie [17]. Pomocou Compute-to-Data sa súkromné údaje nezdieľajú priamo, ale poskytuje sa k nim skôr špecifický prístup. Používa sa na zdieľanie údajov v kontexte vedy alebo techniky alebo na trhoch na predaj súkromných údajov pri zachovaní súkromia. Viac údajov zlepšuje predikčnú presnosť moderných modelov umelej inteligencie. Súkromné údaje sa často považujú za najcennejšie údaje, pretože je veľmi ťažké sa k nim dostať a ich používanie môže viesť k potenciálne veľkým výnosom. Vlastníci údajov schvaľujú, aby sa na ich údajoch spúšťali algoritmy umelej inteligencie. Compute-to-Data organizuje vzdialené výpočty a vykonávanie procesov využitím poskytnutých údajov na tréning modelov AI, pričom zachováva ich súkromie.

Na záver, Ocean Protocol je sľubnou platformou, ktorá môže značne ovplyvniť spôsob zdieľania a výmeny údajov. Pomocou technológie blockchain a smart contract-ov umožňuje používateľom bezpečne a transparentne zdieľať a speňažovať svoje dátové aktíva a vytvárať globálne spoločné údaje, ku ktorým môže pristupovať a používať ich ktokoľvek.

4.2 Zenome

Využitie technológie blockchain v genomickom ekosystéme môže poskytnúť niekoľko výhod, ako je vylepšená bezpečnosť údajov a súkromie, možnosť jednotlivcov kontrolovať, kto má prístup k ich genomickým údajom. Základom pre realizáciu tohto systému bolo nasledujúcich 5 princípov [16]:

Individuálne vlastníctvo genomických informácií – Každý účastník

má všetky práva na svoje osobné genomické údaje.

Sloboda výberu - Každý účastník sa môže rozhodnúť, na aké účely bude použitá jeho individuálna genetická informácia. Človek sa môže rozhodnúť, či sa zúčastní vedeckého/klinického výskumu alebo nie.

Právo na zdieľanie - Účastník môže poskytnúť prístup ku genetickým informáciám tretej strane spôsobom obmedzujúcim kopírovanie údajov.

Súkromie – Šifrovanie súkromných údajov znemožňuje prístup k jednotlivým genetickým informáciám bez výslovného povolenia používateľa.

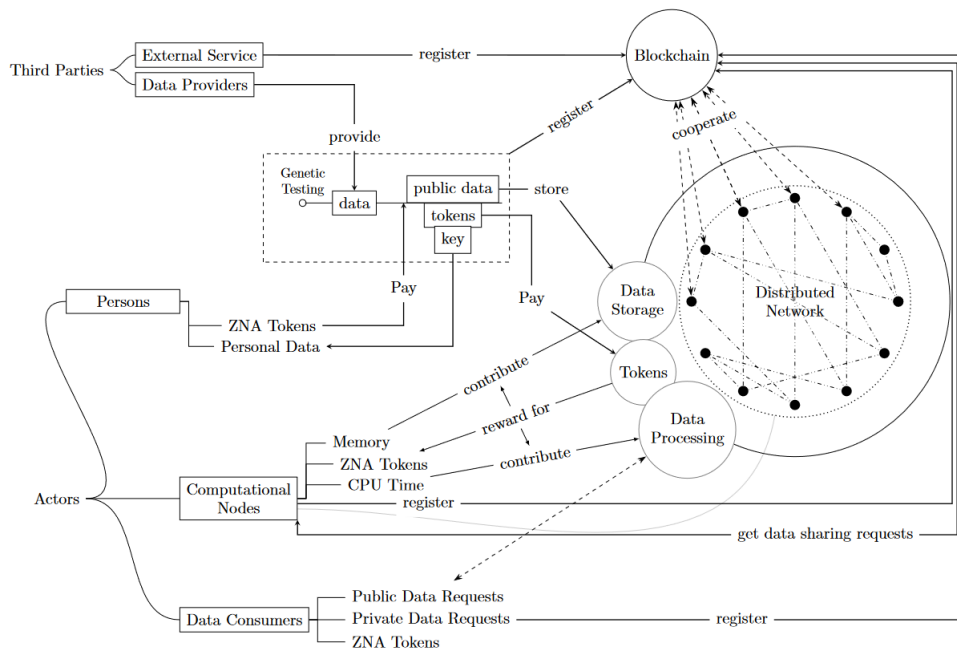
Distribúované ukladanie údajov – Architektúra distribuovanej databázy poskytuje vysokú dostupnosť a odolnosť voči chybám prostredníctvom replikácie a schopnosti škálovania.

Platforma Zenome ponúka možnosť založenia si vlastného uzla (viď obr. 4.1). Každý uzol má presne definovanú svoju rolu. Tieto role sa delia na [16]:

- **(Výpočtový / Ukladací) Uzol**, ktorý za odmenu poskytuje úložisko a výkon CPU vlastného zariadenia.
- **Osoba**, ktorá nahrala jednotlivé genetické údaje na platformu a prípadne využíva genetické služby.
- **Analytik**, ktorý má záujem analyzovať genetické informácie na platforme. Môže predstavovať: dátového vedca, vedeckú organizáciu atď.
- **Poskytovateľ služieb**, ktorý na platforme implementuje genetickú službu (aj platenú). V podstate je to organizácia, ktorá používa genetické údaje ako súčasť svojho podnikania.

Každý používateľ je zapojený do množstva interakcií rôzneho druhu, pričom reprezentuje rozličné role. Niektoré z nich, ako napríklad Poskytovateľ služieb a Analytik, vyžadujú špeciálne znalosti, no Uzol a Osoba nie.

Zenome ponúka široký výber užitočných vlastností a črt, ktoré umožňujú systému bezpečným spôsobom uchovávať a poskytovať genomické dáta ostatným používateľom. Na obr. 4.2 môžeme vidieť nadriadenosť platformy v porovnaní s ostatnými podobnými produktmi na trhu.



Obr. 4.1: Návrh architektúry platformy Zenome, ktorý znázorňuje jednotlivé interakcie medzi rolami distribuovanej siete, blockchainom a tretími stranami [16].

	We	GeneCoin	EncrypGen	23andMe	Pathway Genomics	Supedia (Promethease)	Human longevity
Decentralized	✓	✓	✓	-	-	-	-
Suitable for non-human organisms	✓	✓	✓	-	-	-	-
Customer is the owner of his data	✓	✓	✓	-	-	✓	-
Possibility to load your own data	✓	✓	✓	-	-	✓	-
Opened nonprivate data	✓	✓	-	-	-	-	✓
Performs its own data analysis	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
Provides a report for customers	✓	-	-	✓	✓	✓	-
Uses AI and Machine Learning	✓	-	-	-	-	-	✓
Sharing without transmitting huge data	✓	-	✓	-	-	-	-
Earn using your data	✓	-	-	-	-	-	-
Opened for scientists	✓	-	-	-	-	✓	-
Is a platform for other tools	✓	-	✓	-	-	-	-

Obr. 4.2: Porovnanie črt platformy Zenome s ostatnými podobnými produktami. Je zrejmé, že Zenome značne porazil konkurenciu v na obrázku vymenovaných vlastnostiach. Z tohto vyplýva, že Zenome je všestranná platforma, ktorej riešenia by mohli pozitívne ovplyvniť výsledok tejto práce [16].

Literatúra

- [1] Data: The New Asset Class — oceanprotocol.com. <https://oceanprotocol.com/>. [Accessed 15-Dec-2022].
- [2] Home — medicalchain.com. <https://medicalchain.com/en/>. [Accessed 15-Dec-2022].
- [3] Solution blockchain de traçabilité des médicaments. <https://www.blockpharma.com/>. [Accessed 15-Dec-2022].
- [4] Zenome - Home — zenome.io. <https://zenome.io/>. [Accessed 15-Dec-2022].
- [5] Cornelius C Agbo, Qusay H Mahmoud, and J Mikael Eklund. Blockchain technology in healthcare: a systematic review. In *Healthcare*, volume 7, page 56. MDPI, 2019.
- [6] Mohammed Alghazwi, Fatih Turkmen, Joeri van der Velde, and Dimka Karas-toyanova. Blockchain for genomics: a systematic literature review. *Distributed Ledger Technologies: Research and Practice*, 2021.
- [7] Asaph Azaria, Ariel Ekblaw, Thiago Vieira, and Andrew Lippman. Medrec: Using blockchain for medical data access and permission management. In *2016 2nd international conference on open and big data (OBD)*, pages 25–30. IEEE, 2016.
- [8] Jennifer Bresnick. Exploring the use of blockchain for ehds, healthcare big data. <https://healthitanalytics.com/features/exploring-the-use-of-blockchain-for-ehrs-healthcare-big-data>, Dec 2019. [Accessed 15-Dec-2022].

- [9] Coordinator. Centralized vs. Decentralized Crypto Exchanges | Berdon LLP — berdonllp.com. <https://www.berdonllp.com/cryptocurrency-the-pros-and-cons-of-centralized-vs-decentralized-exchanges/>. [Accessed 15-Dec-2022].
- [10] Filecoin. A decentralized storage network for humanity’s most important information | Filecoin — filecoin.io. <https://filecoin.io/>. [Accessed 15-Dec-2022].
- [11] Marko Hölbl, Marko Kompara, Aida Kamišalić, and Lili Nemec Zlatolas. A systematic review of the use of blockchain in healthcare. *Symmetry*, 10(10):470, 2018.
- [12] Taghreed Justinia. Blockchain technologies: opportunities for solving real-world problems in healthcare and biomedical sciences. *Acta Informatica Medica*, 27(4):284, 2019.
- [13] Scott D Kahn. On the future of genomic data. *science*, 331(6018):728–729, 2011.
- [14] Gajendra J Katuwal, Sandip Pandey, Mark Hennessey, and Bishal Lamichhane. Applications of blockchain in healthcare: current landscape & challenges. *arXiv preprint arXiv:1812.02776*, 2018.
- [15] Bert Kozma. Decentralized exchanges - pros and cons analysis. <https://cryptogeek.info/en/blog/decentralized-exchanges-pros-and-cons>, May 2020. [Accessed 15-Dec-2022].
- [16] Nikolay Kulemin, Sergey Popov, and Alexey Gorbachev. The zenome project: Whitepaper blockchain-based genomic ecosystem. *Zenome. io*, page A, 2017.
- [17] Trent McConaghy. Ocean protocol: Tools for the web3 data economy. In *Handbook on Blockchain*, pages 505–539. Springer, 2022.
- [18] Halil Ibrahim Ozercan, Atalay Mert Ileri, Erman Ayday, and Can Alkan. Realizing the potential of blockchain technologies in genomics. *Genome research*, 28(9):1255–1263, 2018.

- [19] Giulio Prisco. The Blockchain for Healthcare: Gem Launches Gem Health Network With Philips Blockchain Lab — bitcoinmagazine.com. <https://bitcoinmagazine.com/business/the-blockchain-for-healthcare-gem-launches-gem-health-network-with-philips-blockchain-lab-1461674938>. [Accessed 15-Dec-2022].
- [20] Ayesha Shahnaz, Usman Qamar, and Ayesha Khalid. Using blockchain for electronic health records. *IEEE Access*, 7:147782–147795, 2019.