SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

MATEMATIČKI ODSJEK

Filip Maček

PAMETNI UGOVORI POMOĆU BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE

Diplomski rad

Voditelj rada:

prof.dr.sc. Luka Grubišić

Zagreb, kolovoz 2020.

Sadržaj

Uvod

Pametni ugovori naziv su za bilo kakav kompjutorski program ili transakcijski protokol koji automatski izvršava i kontrolira izvršavanje nekog ugovora i svih njegovih dijelova. Ideja je da su uvjeti ugovora kao i njegova etape izvršavanja potpuno prepušteni kompjutorskom kodu.

Jedan važna odluka kod pametnih ugovora jest gdje će se taj program tj. ugovor izvršavati . Većina današnjih pametnih ugovora se izvršavaju na centralnim računalima onog jednog od sudionika tog ugovora. Ali idealni scenarij bi bio da se ugovor izvršava na serverima na kojima nitko od sudionika nema kontrola,a svi sudionica mogu vjerovati da se ugovor izvršiti po unaprijed određenim pravilima.

U prošlom poglavlju „Uvod u blockchain” uspjeli smo identificirati blockchain kao sigurni i decentraliziranu mrežu za procesiranje i spremanje podataka te se on nameče kao jedno od rješenja gdje se pametni ugovori mogu izvršavati.

Ethereum je jedan od najvećih blockchain platformi za izvršavanje pametnih ugovora, i naša primjer pametnog ugovora će se tamo izvršavati.

Pametni ugovori nude mnoge prednosti nad današnjim digitalnim ugovorima

Glavna korisnost pametnih ugovora je u tome što se oni ne ovise o nikakvim sigurnim posrednicima ili arbitražama i svim troškovima koje takvo posredstvo nosi. Svi ostali problemi i prevare koji mogu nastati u izvršavanju ugovora također su izostavljeni jer se podrazumijeva da je kod tog ugovora napravljen u cilju obuhvaćanja svih mogućih događaja u stvarnom svijetu.

U ovom diplomskom radu pokušat ćemo pokazati jednu moguću implementaciju i korisnost pametnih ugovora u stvarnom svijetu te ćemo pokušati pokazati kako se takva implementacija može natjecati sa sadašnjim modelom izvršavanja tih ugovora gdje velike korporacije ... TODO

Model i interakcija sa pametnim ugovorima na blockchainu je drugačiji nego današnje aplikacije koje u većini slučajeva komuniciraju sa svojim centralnim serverom pomoću API-ja (engl. Application programming interface).

Naša aplikacija je decentralizirana jer ne komunicira sa centralnim našim serverom nego se izvršava na svim kompjuterima na Ethereum blockchainu. Time naša aplikacija postaje „Dapp”, naziv koji se koristi za aplikacije tj. pametne ugovore koji se izvršavaju na Ethereum.

--- KRATAK OPIS APLIKACIJE I SVIH NJENIH DIJELOVA

Poglavlje 1

Uvod u blockchaina

1.1 Uvod

Kroz ovo poglavlje ukratko ćemo opisati glavne karakteristike i dizajn blockchain kao i njegovu povijest. Također značajna će nam biti i njegova motivacija i kakve pogodnosti blockchain donosi.

1.2 Povijest

Nakon izuma računala 1980-tih ljudi su se počeli pitati kakve su sve još inovacije moguće pomoću tog stroja. Ljudi još nisu shvaćali sve mogućnosti koje će im taj stroj omogućiti u budućnosti. Tada su još to bila izolirana računala koja su slabo bila povezana. Ali i već tada su neki istaknuti stručnjaci počeli uviđati kako da povežu ta računala u jedan koherentan sustav ili mrežu. *David Chaum* je bio pionir u tom području, i on je već 1982. u svojoj doktorskoj disertaciji [1] počeo razmišljati kako organizacije koje međusobno ne vjeruju jedna drugoj, mogu zajedničkim snagama izgraditi i održavati siguran računalni sistem kojem svi mogu vjerovati. Uvidio je veliku potrebu u privatnom i javnom sektoru za takve sisteme. Kriptografskim tehnikama bilo bi moguće takav sistem ostvariti praktičnim, gdje bi se spremljeni i podaci u opticaju mogli biti zaštićeni mehanizmom sefa (*eng. vault*)
Kasnije, 1991. *Stuart Haber i W. Scot. Sornetta* iznose prvi dizajn kriptografski osiguranog lanca blokova u kojem se ne može manipulirati vremenskim oznakama. Godinu dana nakon u svoj dizajn unose novu inovaciju binarno hash stablo (*eng. Merkle Tree).* Ono je omogućilo jednostavnu i sigurnu verifikaciju sadržaja velikih struktura podataka. Također je omogućilo da više certifikata dokumenata budu uključeni u blokove.

Bitcoin

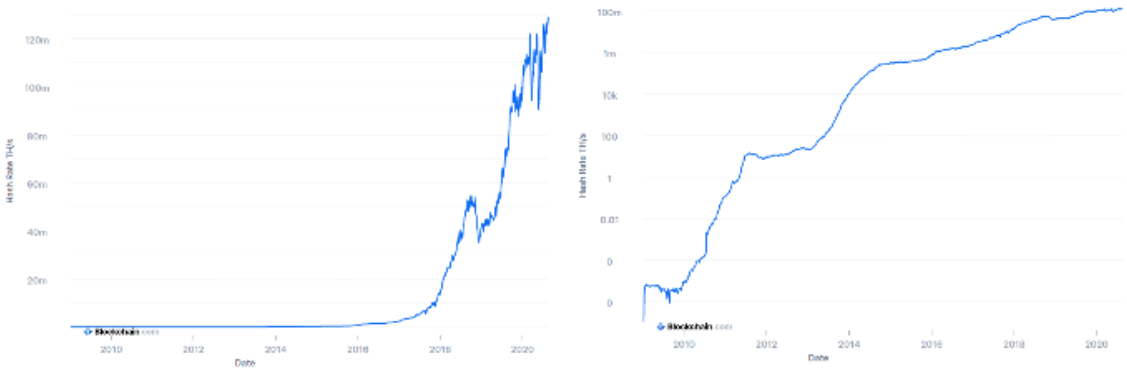
Iako je bilo mnoštvo akademski radove i napretka u kriptografiji do 2008. nije postojala nikakva veća i značajnija implementacija blockchain u svijetu. Tada je u jeku najveće financijske krize skupina ljudi ili jedan čovjek (što do danas nije poznato) pod pseudonimom Satoshi Nakamoto objavljuje članak
eng. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. [2] U njemu iznosi osnovne teze i potrebe za neovisnim i decentraliziranim novčanim sustavom:

- Potpuno neovisan elektronički novac bi omogućio direktno slanje novca od jednog sudionika do drugog bez prisustva neke financijske institucija.
- Takav sustav koji se temelji na povjerenju u jedan centralni entitet ima svoje nedostatke. Neke od njih su mogućnost poništavanja transakcija i blokiranja računa sudionika te time izgon iz financijskog sustava i nemogućnosti sudjelovanja u financijskim uslugama.
- Transakcijski troškovi su povećani prisustvom posredovatelja

U tom članku je preporučeno elektronički naplatni sustav koji se temelji na kriptografiji, a ne na povjerenju. Dopuštajući da bilo koja dva sudionika sudjeluju u financijskoj transakciji bez potrebe da vjeruju jedan drugome.

Problem dvostruke potrošnje (*eng. double-spending problem*) već potrošenog novca riješen je na način da se umrežena računala na Bitcoin mreži slože oko toga da postoji jedan jedan opći vremenski lanac gdje bi se generirao kriptografski dokaz o kronološkom poretku transakcija.

Takav sustav je siguran dok većina pošteni čvorova na Bitcoin mreži kontrolira više procesorske moći nego napadačka skupina čvorova.Takav sustav je robustan u svojoj nestrukturiranoj jednostavnost



Slika 1.1: Hash rate Bitcoin mreže kroz vrijeme (linearna, logaritamska skala)

Na slici 1.1

Iako u početku odbačen i ne hvaljen od strane akademika i financijskih institucija koji su u njemu vidjeli pokušaj promijene starih vrijednosti. Mreža je aktivna i rastuća, te bez prestanka niti kakvih smetnji pouzdano izvršava svoju funkciju.

Kasnije 2014. godine izlazi članak i dizajn novog tipa blockchaina po imenu Ethereum. On je naslijedio opću funkcionalnost slanja novčane valute od Bitcoin protokola, ali je u svojoj implementaciji dodao još jednu jako važno novinu. A to je da čvorovi na Ethereum mreži još mogu i izvršavati posebno napisanu programsku logiku u programskom jeziku nazvanom Solidity. Time je otvoren put pametnim ugovorima te je i svaki takav programski isječak na Ethereumu i prozvan *eng. Smart Contract* . U budućim poglavljima ćemo pobliže opisati unutrašnji dizajn Ethreumu, osnovne značajke programskog

jezika Solidity te kako je moguće da se programski kod paralelno izvršava na svim računalima.

1.3 Osnovne karakteristike

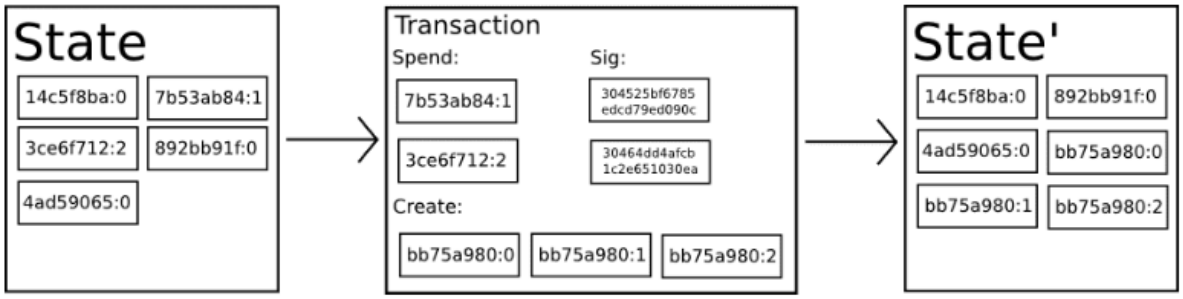
U ovom poglavlju ćemo ukratko opisati glavne dijelove i karakteristike blockchaina fokusirajući se na inicijalni dizajn Bitcoin protokola.

Njegov doprinos i značaj je ogroman jer je istovremeno riješio dva velika problema:

1. Omogućio je jednostavan i efektivan konsenzus algoritam, dajući računalima *(eng. nodes)* na mreži svojstvo da se kolektivno slože oko trenutačnog stanje Bitcoinove knjige salda *(eng. ledger)* te mehanizma kako će se ona mijenjati.
2. Riješio je veliki implementacijski problem tko odlučuje o konsenzusu na mreži, i time dao mogućnost jednostavnog ulaska i sudjelovanja novih računala na mreži.

Sa tehničkog stajališta, knjiga salda elektronske valute Bitcoin , je zapravo sistem promijene stanja *(eng. „state transistion system”)* gdje se stanje

vlasništvo na elektronskom valutom te funkcija promijene stanja *(eng. „state transition function”).*



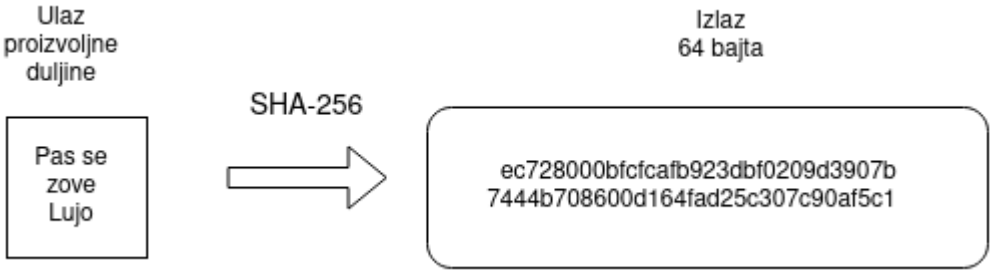
Slika 1.2: Bitcoin blockchain kao sustav promijene stanja

Sada ćemo opisati sve dijelove za implementaciju ovakvog sustav.

Kriptografska hash funkcija

U pozadini blockchaina je posebna klasa kriptografske funkcije koji ima svojstvo da je ulazni nezavisna varijabla proizvoljne veličine, a rezultat te funkcije je fiksne veličine. Takva funkcija je jednosmjerna te joj se ne može izračunati inverz.

Time je jedini mogući algoritam za pronalaska ulaznog parametra za zadanu vrijednost funkciji , onaj u kojem se eng. brute-force algoritmom provjeravaju sve vrijednosti. U ovom slučaju koristi je posebna hash funkcija imenom SHA256 koja vraća 256 bitni broj koji je prikazan kao heksadecimalni broj sa 64 znamenke rade lakše čitljivosti.



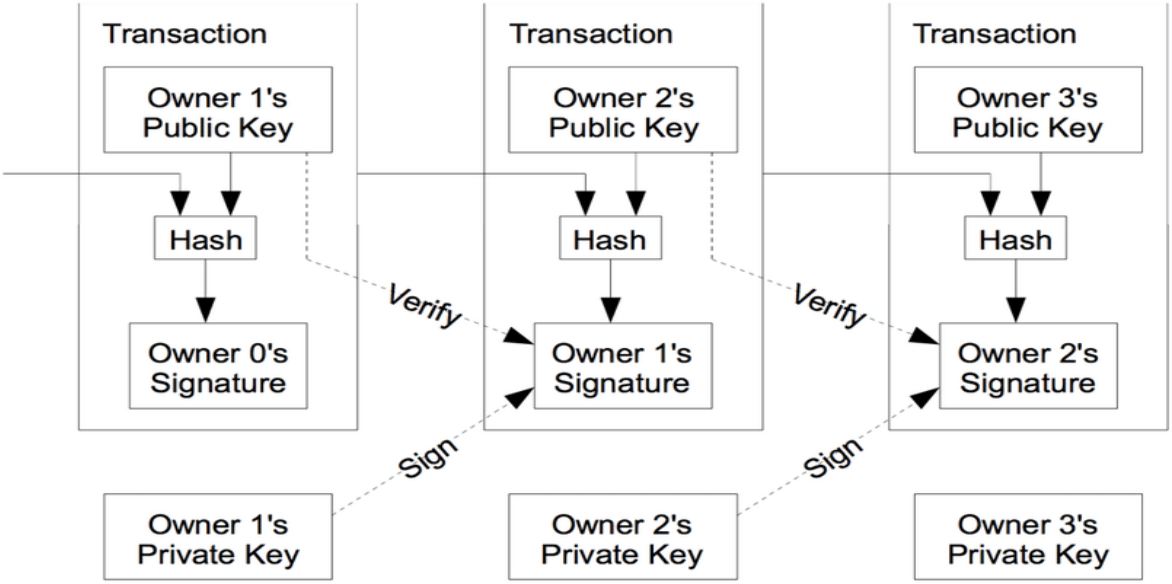
Slika 1.3 SHA-256 hash funkcija

Transakcije

Na blockchainu elektronska valuta se definira kao lanac digitalnih kriptografski potpisa. Svaki sudionika transferira željenu količinu digitalnog novca koji on posjeduje tako da pomoću svog privatnog ključa potpisuje skup koji sadrži sljedeće informacije:

- Hash posljednje vlastite transakcije
- Javnih ključ primatelja te digitalne transakcije

Transakcije nisu privatne, već javne. Time je omogućeno da se svaka transakcija vidi i provjeri je li ispravna.



Slika 1.4: Dizajn Bitcoin transakcije

Svaki vlasnik elektronske valute transferira željenu vrijednost tako da digitalnog potpisuje hash prijašnje transakcije i javni ključ primatelja kojemu želi poslati te digitalne novce. Da bi primatelj potvrdio vlasništvo, on jednostavno uz pomoć javnog ključa pošiljatelja verificira digitalni potpis.

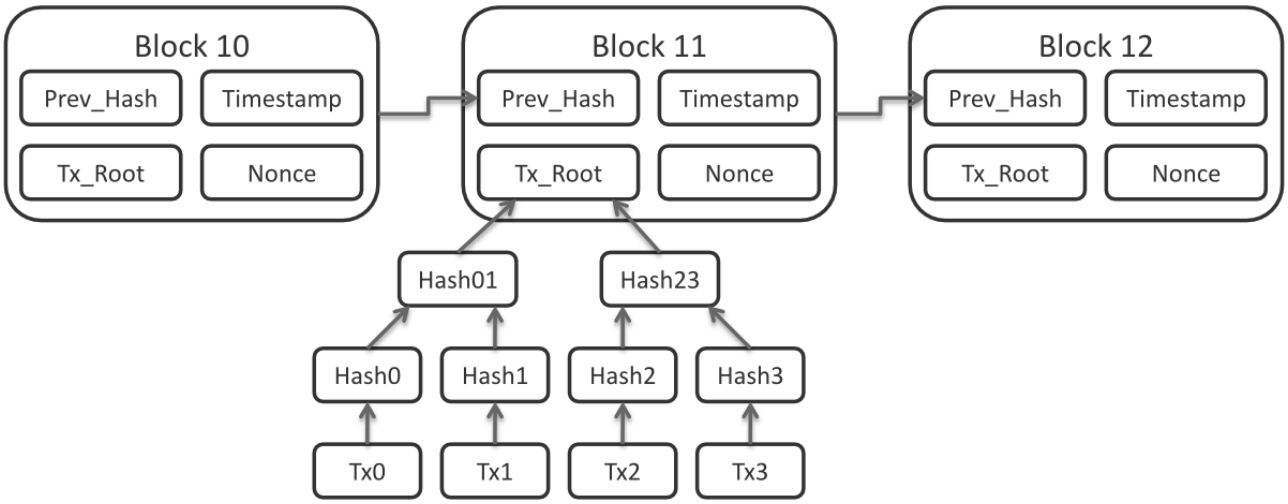
Ovim dizajnom se postiže da digitalna valuta nije fiksni iznos koji svaki sudionika ima (vrijednost na računu), već se sistem temelji na prijenosu prava sa prijašnjeg vlasnika na budućeg koji onda ima pravo potpisati i prenijeti ta prava gdje god on želi.

Blokovi

U prijašnjem objašnjenu o transakcijama na blockchainu, postoji problem dvostruke potrošnje *(eng. double-spending)* . Primatelj digitalne valute nemože sa sigurnošću ustvrditi da pošiljatelj već negdje druge nije potrošio tu količinu

valute. Jedan od rješenja tog problema bi bio stvaranjem jednog centralnog entiteta koju bi svi vjerovali, te bi on provjeravao da transakciju već nisu negdje drugdje potrošene. Ali time bi se potkopala cijela ideja decentralizacije i neovisnosti.

Umjesto toga implementiran je dizajn lanca blokova gdje se svi elementi blok *hashiraju* te se vremenski obilježe te se propagiraju kroz cijelu mrežu.



Slika 1.5: Povezivanje blokova u lanac

Trenutni blok se puni nepotvrđenim transakcijama koji se onda uz pomoć **binarnog hash stabla** povezuju i stvara se krajnji hash (*Tx_Root*) svih transakcija. Time se postiže da su transakcije vremenski obilježene te da su morale postojati inače ne bi mogle biti unesene u hash bloka.

Algoritam konsenzusa

Da bi se uspio implementirati ovakav distribuiran vremenski lanac blokova na većem broju računala *(eng. peer-to-peer)*, potrebno je utvrditi mehanizam kako će sva računala koja održavaju mrežu složiti oko toga koji je glavni lanac i kako se on povezuje. Implementiran je algoritam imena eng. **Proof-of-Work.**

On je prenio moć odlučivanje sa formalnog demokratskog odlučivanja, gdje je jedinstveno registriran entitet ima pravo na jedan glas (*eng. one-IP-address-one-vote*) na ekonomsku barijeru, gdje je moć jednog računala na mreži u direktnoj proporciji na procesorsku snagu koju on donosi na mrežu (*eng. one-CPU-one-vote).*

Time je riješeno pitanje odabira glavnog lanca oko kojeg će se većina računala na mreži složiti, a to je onaj koji je najduži. Na njegovo stvaranje je potrošeno najviše procesorske moći, i uz njegov odabir kao glavnog lanca postiže se i

najveća sigurnost protokola. Ako je većina CPU snage u poštenim računalima na mreži, tada će taj pošten lanac raste najviše i premašiti ostale po veličini.

Taj algoritam je implementiran tako da se uvećava engl.Nonce u zaglavlju bloka dok hash tog bloka nebude manji od unaprijed zadane složenosti. Time se želio postići da je prosječno vrijeme izrade bloka *(eng mining)* oko 10 minuta.

Kako se mijenja procesorska moći cijele mreže, tako se i mijenja razina složenosti da bi se postiglo prosječno vrijeme izrade bloka. Mreža svakih 2016 blokova provjerava koliko je bilo prosječno vrijeme izrade blokova. Ako je manje od ciljanje 10-minutne, onda se složenost povećava tj. hash bloka će morati biti još manje tj. morat će imati više vodećih nula.

Scripting

U pozadini cijelog protokola je i jednostavan programski jezik na stogu *(eng. stack)* koji služi kao scripting sustav za transakcije. „Script" je zapravo lista instrukcija upisana u svaku transakciju koji opisuje kako će sljedeća osoba dobiti pristup svojem elektroničkom novcu. Provjera i izvršavanje ovog jednostavnog jezika je povjerena čvorovima na mreži, koji je izvršavaju i upisuju ispravne transakcije u novi blok, tj. transakcije u kojima se skripta uspješno izvršila. Koliko god ovaj sistem bio jednostavan i efikasan u održavanju Bitcoin mreže i protokola, on ima i neke svoje nedostatke:

- **Izostanak Turingove konačnosti**

  Iako sadrži veliki skup operacija koje se mogu izvršiti, taj programski jezik ne podržava petlje. To je implementirano sa svrhom da se izbjegnu beskonačno izvršavanje petlji dok se verificiraju transakcije.

- **Nemogućnost pamćenja vrijednosti**

  Ne postoji mogućnost da se tim transakcijskim skriptama da veća kontrola nad isplatama i iznosima transakcija. Time se efektivno ne mogu izvršavati nikakve složenije transakcije koji imaju neke uvjete.

- **Nepostojanje stanja**

  Sve nepotrošene transakcijske vrijednosti (*eng UTXO – Unspent transaction output)* su ili potrošeni ili nepotrošeni. Nema nikakve šanse da one ulaze u neke višestruke ugovore ili skripte koji čuvaju unutrašnje stanje

- **Blockchain slijepoća**

UTXO ostaju slijepe na ostale podatke u blockchainu kao što su nonce, vrijeme ili prijašnjih blok hash. Time je scripting programski jezik višestruko limitiran i nedostaju mu važni izvori slučajnosti.

1.3 Ethereum

Zbog sve već navedenih nedostataka, pojavila se potreba za drugačijom i sofisticiranijim tipom blockchaina koji bi uspijeva izvršavati i kompliciraniju programsku logiku nego samo slanje elektroničke valute. U tom cilju razvio se Ethrereum koji je imao cilj sagraditi alternativni tip blockchaina koji ne kompromitira ekonomski model i sigurnost koju nudi blockchain.

Implementiran je na ovim idejama:

- **Jednostavnost**

  Ethereumov protokol treba biti što jednostavniji za korištenje i interakciju sa njim. Svaka optimizacija koja dodaje neku količinu kompleksnosti treba bi biti izbjegnuta jedino ako daje vrlo veliku korisnost.

- **Univerzalnost**

  Fundamentalni dizajn Ethereuma je da nudi potpunu slobodu pri izradi aplikacija time što nudi interni Turing-konačan jezik imena *Solidity* što nudi programeru opću slobodu u izradi svakog tipa pametnog ugovora i svih operacija koje je moguće matematički izvršiti

- **Modularnost**

  Dijelove i implementacije Ethereum protokola trebali bi biti modularni i neovisni te bi trebali biti implementirani kao zasebni moduli koje i drugi protokoli mogu koristiti.

- **Svestranost (Agility)**

  Detalji protokola nisu fiksirani, i svako poboljšanje koje pridonosi scalabilnijem i sigurnijem radu su dobrodošli i bit će detaljno razmotreni

- **Bez cenzure i diskriminacije**

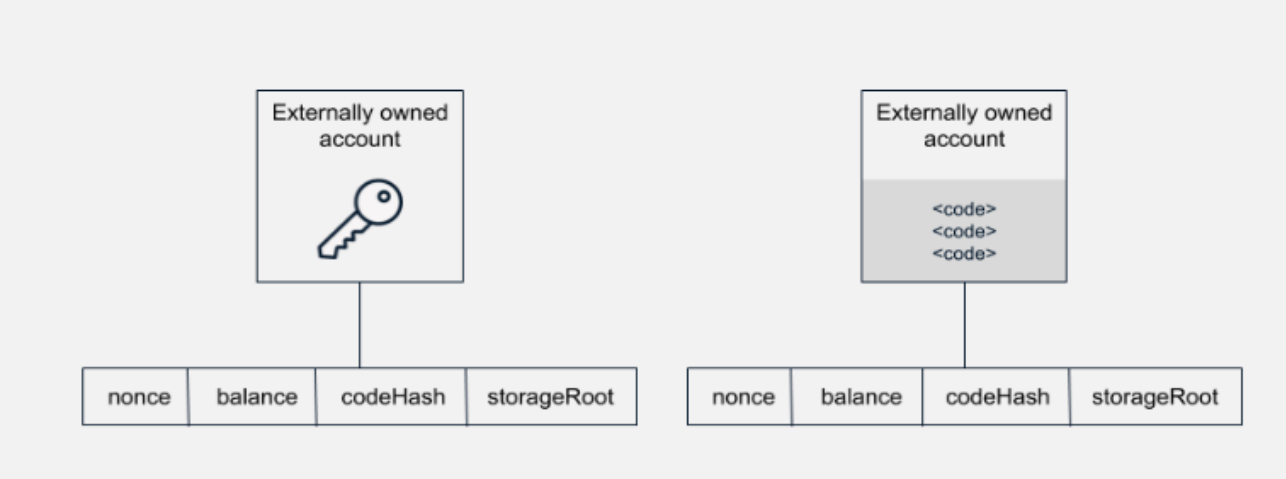
  Protokol ne bi smio nikako cenzurirati ili diskriminirati specifične kategorije upotrebe ili sudionike

Tip računa (account)

Na Ethereum protokolu stanje sustava je prikazano uz pomoć objekata pod imenom *eng. „accounts”*. Svaki od njih ima svoju osobnu 20-bajtnu adresu, a funkcija promijene stanja *(eng. state transition function)* između njih je direktan transfer vrijednosti i informacija. Digitalna valuta na Ethereumu je Ether(ETH)

Postoje dva tipa računa na Ethereum protokolu

1. *Externally owned accounts* – kontrolirani uz privatni ključ
2. *Contract Accounts* – kontroliran od strane koda pametnog ugovora



Slika 1.7: Tip računa na Ethereum protokolu

Također svaki račun na Etheremu sadrži 4 važna polja:

- **Nonce** : brojač, koji služi da transakcije budu procesirana samo jednom
- **Stanje računa**: količina digitalne valute Ether koju račun posjeduje
- **Kod programa**: ako postoji
- **Memorija računa**: početna vrijednost je prazna

Razlika u ta dva tipa računa je također u tome što *externally owned account* nema nikakvog programskog koda, s toga računa su mogu slati i primati poruke potpisivanjem transakcija. S druge strane, *contract account* ima drugačija svojstva te on na svaku primljenu poruku aktivira određeni dio koda, koja onda onda izvršava sve potrebne operacije npr. zapisivanja u internu memoriju, slanje poruka ostalim računima ili kreiranje novih pametnih ugovora.

Takvim dizajnom se postiže to da pametni ugovora na Ethereumu ne bi trebali biti viđeni kao fiksne strukture koje bi trebali biti izvršene ili s kojima je potrebno surađivati. Već više kao autonomne agente koji žive unutar Ethereum protokola i čekaju na poruke ili transakcije, imaju direktnu kontrolu nad stanjem računa i svim unutrašnjim varijablama.

Transakcije i poruke

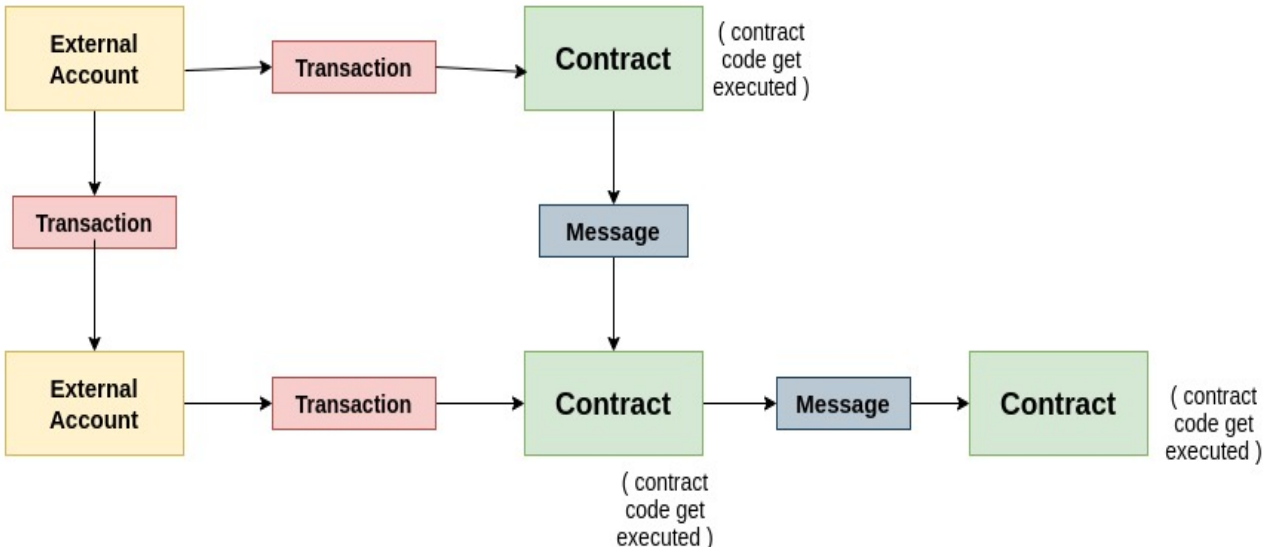
Uz različite tipova računa, na Ethereum blockchainu postoje i različiti tipovi poruku koje sudionici ili pametnih ugovori mogu koristiti.

1. **Transakcije**

   Skup podataka potpisan od strane vanjskog agenta (*eng. Exernal Actor*). Može reprezentirati poruku ili novi autonomni objekt, tj. novostvoreni pametni ugovor. Transakcije su eksplicitno zapisane na blockchain.

2. **Poruke (eng. Messages)**

   Pametni ugovori imaju mogućnost slati poruke jedan drugome. Poruke su u tom slučaju virtualni objekti koji nisu direktno upisani u blockchain već postoje jedino u Ethreumovom unutrašnjem okruženju *(eng. Ethereum execution environment)* i tamo se izvršavaju. Ukratko poruka je kao transakcija, ali je napravljena od strane pametnog ugovora, a ne vanjskog sudionika.



Slika 1.8: Poruke i transakcije

Svaka transakcije upisana u blok sadrži poruku, ali poruke koje šalju pametni ugovori nisu upisani u blok kao podaci, već su implicitno uključene u izvršavanje pametnog ugovora.

Formalno, kod pametnih ugovora je napisan u program jeziku niže razine te pretvoren u *eng. bytecode* koji onda Ethereumov virtualni kompjuter *(eng. Ethereum virtual machine -EVM)* izvršava dio po dio uz pomoć stoga.

Value	Mnemonic	δ	α	Description
0x00	STOP	0	0	Halts execution.
0x01	ADD	2	1	Addition operation. $\mu'_s[0] \equiv \mu_s[0] + \mu_s[1]$
0x02	MUL	2	1	Multiplication operation. $\mu'_s[0] \equiv \mu_s[0] \times \mu_s[1]$
0x03	SUB	2	1	Subtraction operation. $\mu'_s[0] \equiv \mu_s[0] - \mu_s[1]$
0x04	DIV	2	1	Integer division operation. $\mu'_s[0] \equiv \begin{cases} 0 & \text{if } \mu_s[1] = 0 \\ \lfloor \mu_s[0] \div \mu_s[1] \rfloor & \text{otherwise} \end{cases}$

Slika 1.9: Primjer nekih operacija i njihovih kodnih vrijednost

Taj programski jezik niže razine i sve njegove operacije pridonose raznolikosti operacija koje je moguće ukodirati u svoj pametni ugovor.

Transakcijski troškovi

Osnovni jedinični računalni korak naziva se *eng. GAS* te svaka *bytdecode* operacija na EVM sadrži neku količinu koraka za izvršavanje, i oni u izraženi u količini *GAS a* potrebnih za njegovo izvršavanje.

U svakoj transakciji postoje dva polja koja pobliže označavaju koliko najviše je platitelj računalnih koraka spreman platiti i po kojoj jediničnoj cijeni za osnovnu transakciju:

1. **STARTGAS**

   Najveći broj računalnih koraka kojih je moguće izvršiti

2. **GASPRICE**

   Naknada koju pošiljatelj transakcije plaća po računalnom koraku *(eng.GAS)*

Ovim ekonomski mehanizmom postiže se korisnost koji računala(čvorovi) na Ethremovom blockchainu dobivaju za održavanje mreže i protkola.

U analogiji s automobilom, GAS predstavlja količinu goriva koja je potrebna, a GASPRICE jediničnu cijenu po litri, a umnožak oba je zapravo kraljni i ukupni trošak.

Problem je u tome što računala na Ethereum mreži koja rudare blokove i izvršavaju kod u transakcijama i porukama pametnih ugovora ne mogu ,unaprijed prije izvršavanje koda, znati hoće li biti u mogućnosti izvršiti za zadane resurse koji su primili u transakcije (*eng. halting problem*). Ukoliko neće računalo *(eng. miner)* ,koje je izvršavalo taj kod, će zadržati sve Ethere, te diskvalificirati transakciju podnoseći engl. „*Out of Gas Exception”*

Poglavlje 2

Pametni ugovori

2.1 Uvod

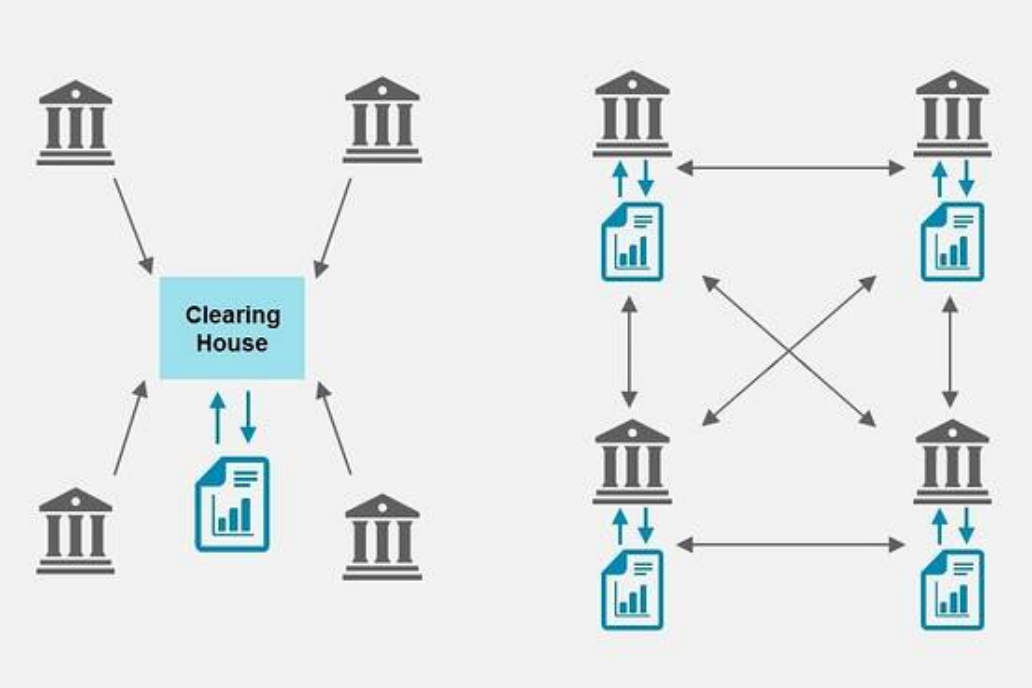
Pametni ugovori naziv su za bilo kakav kompjutorski program ili transakcijski protokol koji automatski izvršava i kontrolira izvršavanje nekog ugovora i svih njegovih dijelova. Ideja je da su uvjeti ugovora kao i njegova etape izvršavanja potpuno prepušteni kompjutorskom kodu.

Glavna korisnost pametnih ugovora je u tome što se oni ne ovise o nikakvim sigurnim posrednicima ili arbitražama i svim troškovima koje takvo posredstvo nosi. Svi ostali problemi i prevare koji mogu nastati u izvršavanju ugovora također su izostavljeni jer se podrazumijeva da je kod tog ugovora napravljen u cilju obuhvaćanja svih mogućih događaja u stvarnom svijetu.

Još jedan važna odluka kod pametnih ugovora jest gdje će se taj program tj. ugovor izvršavati, postoje više solucija ovog problema:

1. Pametni ugovor se izvršava na računalnoj infrastrukturi jednog od sudionika (centralizirani model)
2. Neovisan treći promatrač i njegova infrastruktura je zadužena za izvršavanje pametnog ugovora (centraliziran model)
3. Pametni ugovor se izvršava na decentraliziranoj infrastrukturi, najčešće blockchain (decentralizirani model)

Blockchain ,posebno Ethereum, se nametnuo kao idealno mjesto za decentralizirano izvršavanje pametnih ugovora radi svoje sigurnost i neovisnost. Nijedan sudionik ne može prekinuti ili zabraniti izvršavanje tog ugovora.



Slika 2.1: Centralizirani i decentralizirani model pametnih ugovora

Takvi pametni ugovori koji se izvršavaju na blochainu nude mnoge druge benefite nego današnji digitalni ugovori. Neki su od njih:

- **Sigurnost**

  Izvršavanje pametnog ugovora na decentraliziranoj infrastrukturi osigurava da ne postojanje jednog vektora opasnosti, ili nekog centralnog entita koji će odlučivati što koji sudionik ili pametni ugovor smije raditi

- **Pouzdanost**

  Procesiranje i izvršavanje našeg pametnog ugovora povjereno je mnoštvu računala(čvorova) na mreži sto daje veliku sigurnost da će se naš ugovor sigurno izvršiti

- **Ravnopravnost**

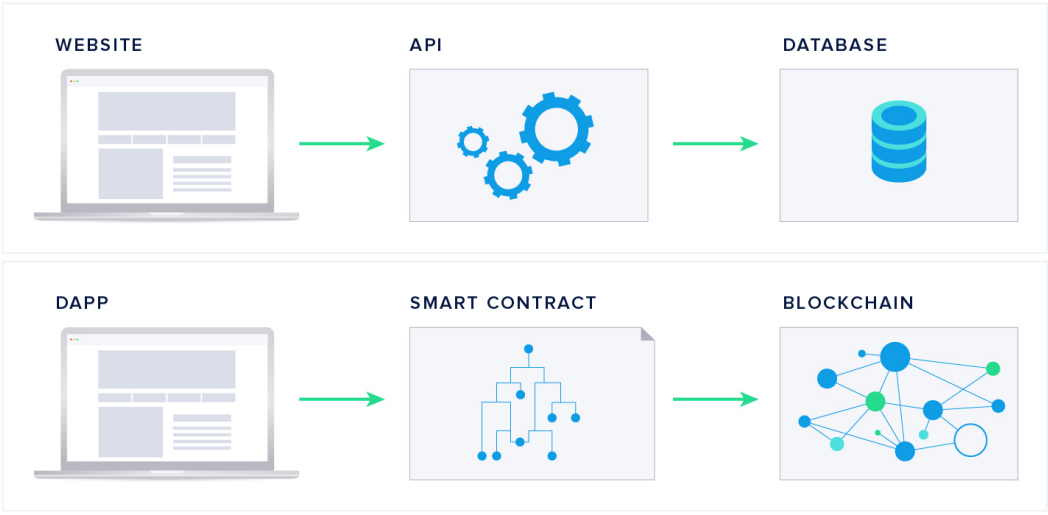
  Koristeći decentralizirano mrežu ravnopravnih partnera svi sudionici imaju jednaka prava i smanje se mogućnost manipulacije centralnih profitnih posrednika

- **Efikasnost**

  Automatizacija procesiranja ugovora u pozadini i izostajanje papirologije, nijedan sudionik ne mora čekati ni ručno unositi podatke

Pametni ugovor na blockchainu bismo mogli usporediti tradicionalnom web arhitekturom gdje ta aplikacija komunicira sa svojim centralnim serverom i bazom podataka pomoću API-ja (engl. Application Programming Interface). Vlasnik te infrastrukture ima potpuno kontrolu i privatnost, nitko ne autoriziran ne može pristupiti podacima.

S druge strane aplikacije na blockchainu imaju svoj API u obliku pametnog ugovora, te blockchain kao bazu podataka. Time su te aplikacije decentralizirane te imaju svoj ustaljeni naziv imena ***DApp*** da bi se razlikovale od tradicionalne web arhitekture. Tada se ta web aplikacija spaja preko blockchain klijenta sa pametnim ugovorom, i sva interakcije ide preko njega.

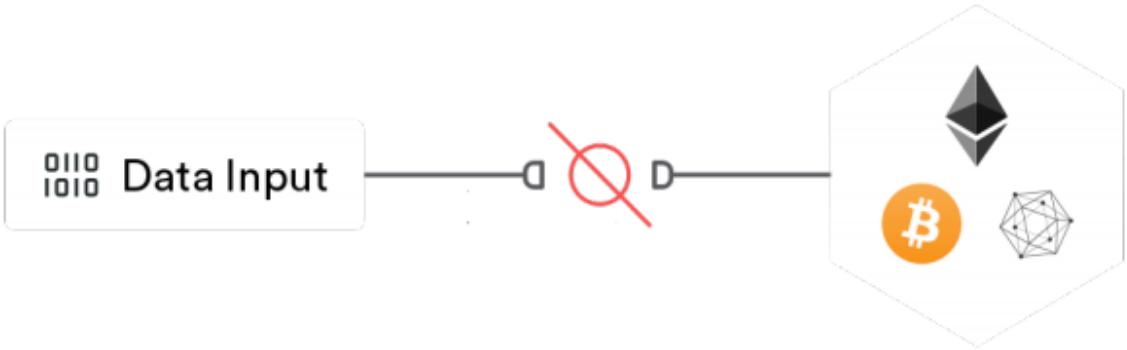


Slika 2.2: Tradicionalna web aplikacija vs. Aplikacija na blockchainu (DApp)

2.2 Oracle problem

Pametni ugovori blockchainu imaju prilike revolucionizirati mnoge sektore gdje bi zamijenili današnju potrebu za tradiocionalnim legalnim ugovorima i centrolnom izvršavanju takvih ugovora. Ali zbog njihovog konsenzus mehanizma, blockchain ne nudi podršku za jednostavno i prirodno komuniciranje sa vanjskim svijetom. A time ni siguran dotok podataka na blockchain.

Pametni ugovori ne mogu imati interakcije sa vanjskim podacima *(eng. off-chain)* bez mogućnosti narušavanja konsenzus mehanizma i blockchaina kao jedinstevnog izvora istine.



Slika 2.2: Problem povezanosti blockchaina sa vanjskim svijetom

Danas, solucija za rješavanje ovog problema i povezivanje sa vanjskim svijetom se nudi u obliku entiteta po imenom eng. *„Oracle”* , aludirajući na mudru i sveznajući proročicu iz antičke Grčke.

Takav entitet bi trebao biti u mogućnosti riješiti dva tipa problema povezana interakcijom sa vanjskim svijetom:

- Nemogućnost validacije i sigurnog dotoka podataka iz vanjskog svijeta
- Nemogućnost iznosa podataka u druge vanjske sistem niti interakcija sa njima

U praksi to znači ne možemo sigurno donijeti nikakve vanjske podatke na blockchain bez da ne kompromitiramo sigurnost i decentralizaciju(npr. cijene financijskih instrumenta, podatke iz senzora itd.) . Te ne moežemo izvršiti

nikakve interakcije sa drugim vanjskim sistemima (npr. prijenos novca za bankovnih računa).

Također time je i korištenje blockchain jako limitirano i usko primjenjivo samo na određeni broj aplikacija koje nemaju interakciju sa vanjskim svijetom.

Projekt **Chainlink** se postavio kao vodeće rješenje i standard za rješvanje problema vanjskih podataka na pametnim ugovorima (eng. Oracle problem).

Slika 1.10: Chainlink Oracle sistem

On nudi inovatnu i efikasnu soluciju za rješavanje tog problema kroz sljedeće solucije:

- **Decentralizacija**

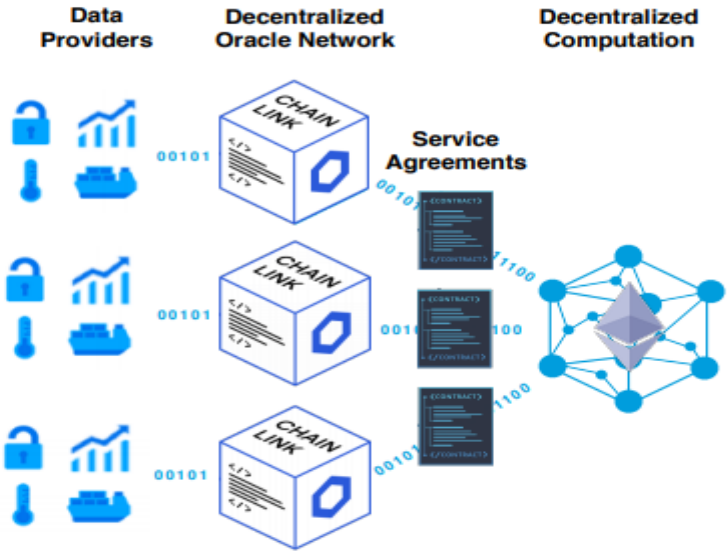
  Postoji više neovisnih računala koji vrše dužnost dohvata podataka te se oni međusobno spajaju u mrežu *Oracle* čvorove

- **Obvezujući Ugovor o uslugama (eng. Binding Service Agreement)**

  Oracle Chainlink čvorovi stupaju u obvezujući ugovor o dotoku podataka kojeg su dužni izvršavati po unaprijed upisanim uvjetima. Svako neizvršvanje utjecaj će na reputaciju te će taj čvor teže kasnije dobivati zadatke za nove usluge

- **Sigurnost kroz individualne Chainlink čvorove i podatke**

- **Mnoštvo obrambenih slojeva** *(eng. „defense in depth”)* koji pridonose sigurnosti i pouzdanosti podataka i obrade tih podataka (npr. „trusted execution enviroment” u kojem svi Chainlink čvorovi izvode obrade podataka)
- Reputacijski sloj te provjerana i odana zajednica Chainlink operatora, koji su ispitani i testirani u različitim uvjetima



Slika 2.2: Chainlink model za siguran dotok podataka na blockchain

2.3 Opis projekta

Motivacija

U ovom poglavlju ćemo opisati projekt imena **„ Movement”** koji je smišljen za ovaj diplomski rad te sve njegove dijelove. Kako je pametni ugovor i njegova povezanost sa vanjskim svijetom bio glavna tematika ovog diplomskog rada., autor rada je htio osmisliti jedan mali ekosistem gdje će središnju riječ imati pametni ugovor koji će biti izvršavan na Ethreumovom blockchainu. Ostali dijelovi imati će također važnu ulogu i služit će pametnim ugovoru kao konekcija za vanjskim svijetom.

Cilj je bio napraviti neku vrstu decentraliziranog platforme koja će koristiti lokacijske podatke sa android telefona za neku svoju namjenu.

Htjeli smo da pametni ugovor, koji nema informacije o događajima iz vanjskog svijeta, sazna i provjeri je li neki put od početne do krajnje točke napravljen. Namjena ovog projekta nisu točno specificirana, ali zbog generalnosti funckija koju ona ima, može se koristiti u svakakve svrhe dostava pošiljaka,hrane i bilo čega drugog ili kao potvrda da je korisnik prešao neku udaljenosti.

Opis

Implementacija tog projekta na prvi pogled izgleda

Također će se spajanjem svih tih dijelova htjeti smo pokazati kako više različitih tehnologija komunicira i međusobno daje veliku korisnost za sve sudionike.

Opišimo dijelove infrastrukture:

1. **Pametni ugovor**

   Pametni ugovor imena „Movement” bit će kreiran na Etherem testnetu Kovan te će služiti kao glavni izvor komunikacija sa Dapp web

aplikacijom te android aplikacijom. On će služiti kao glavna baza podataka te ćemo u njega upisivati sve relevantne informacije

2. **Web aplikacija (Dapp)**

   Frontend web aplikacija napisana uz pomoć ReactJs paketa.

   Služi za interakciju sa pametnim ugovorom na Ethreumu.

3. **Mobilna android aplikacija**

   Android aplikacija napisana u kotlinu, služit će registriranim korisnicima za prelaženje ruta i GPS senzor za lokacijske podatke. Služit će kao digitalna blizanac korisnika koji će slati podatke na Chainlink čvorove

Slika 2.4: Dijelovi projekta „Movement” za diplomski rad

Uz sagrađenu infrastrukturu vežemo i sudionike i entitete koji će ju koristi i čije će međusobne interakcije sačinjavati ovaj projekt (uključili smo engleska imena jer će ona biti prisutna u aplikacijama.

1. **Ruta (eng. Route)**

   Rute će biti zadane udaljenosti od početne do krajnje lokacije koji će korisnici moći preći. Rute će se zadavati preko Dapp web aplikacije te će sadržavati i naplatu u digitalnoj valuti Ether. Pametni ugovor će spremati rute, te brinuti za njihov status

2. **Korisnik (eng. User)**

   Korisnici će biti sudionice ekosistema koji će izvršavati rute. Oni će se registrirati preko Dapp web aplikacije da bi imali pristup mobilnoj aplikacija koja će im služiti za obavljanje ruta i dobivanje informacije o njihovom napretku

3. Čvor (eng. Nodes)

Čvorovi će biti računalni serveri koja se sadržavati više procesa složenih u Docker kontejnere među kojima su najvažniji **Data Adapter** (služi za obradu i spremanje lokacijskih podataka koji korisnici naprave na android aplikaciji) i **Chainlink node** koji će se služiti svojim *data adapterom* kako bi mogo točno i sigurno provjeriti je li korisnik stvarno napravio tu rutu

Slika 2.4: Sudionici i entiteti u projektu

2.4 Implementacija pametnog ugovora

Uvod

U ovom poglavlju opisati ćemo pametni ugovor koji će biti izvršavan na testnet Ethreum blockchainu Kovan. Ukratko ćemo opisati njegov proces izrade i alate, njegove dijelove te funkcionalnost.

Solidity

Pametni ugovor *„Movement”* napisan je u objektno orijentiranom programskom jeziku više vrste **Solidity** koji služi za izradu pametnih ugovora na Ethereumu. Taj programski jezik je bio utjecan od strane C++, *Pythona i Javascripta* te je namijenjen da služi pisanju koda pametnih ugovora na bilo kakvom blockchainu koji koristi EVM (eng. Ethreum Virutal Machine).

Solidity je statički pisan programski jezik koji u sebi posjeduje mogućnost nasljeđivanja, rad sa ostalim modulima, kompleksno definirane tipove podataka i ostale stvari.

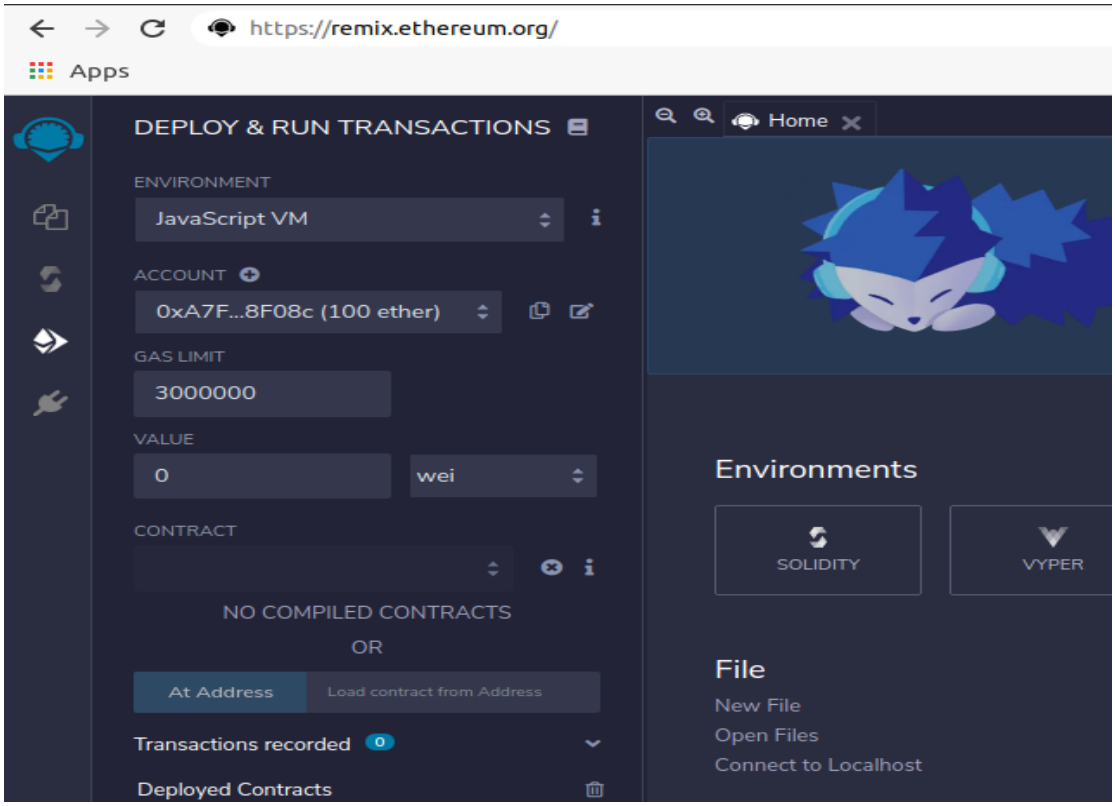
Također svaki pametni ugovor posjeduje eng. Application Binary Interface (ABI) koji opisuje fukcnije, variable i tipove podakata koji je univerzalni za pametne ugovore. ABI uvelike olakšava i konekciju za drugim pametnog ugovora sa drugim programskim jezicima koje ćemo i mi koristit za našu mobilnu aplikaciju u Kotlinu, a i web dapp aplikaciju u Javascriptu

Pametni ugovor napisan u *Solidity-ju* prvo bude kompiliran u byte kod koji će se izvršavati na *EVM (eng. Ethreum Virtual Machine)*.

Dva alata će nam biti potpuno neophodna za interakciju sa pametnim ugovorom

- **Remix IDE**

  Glavni online alat za pisanje i *debugiranje* pametnih ugovora u Solidity koji onda i automatski kreira zadani pametni ugovor na blockchainu koji mi želim te izvršava funkcije ili čita stanje pojedinih varijabli.

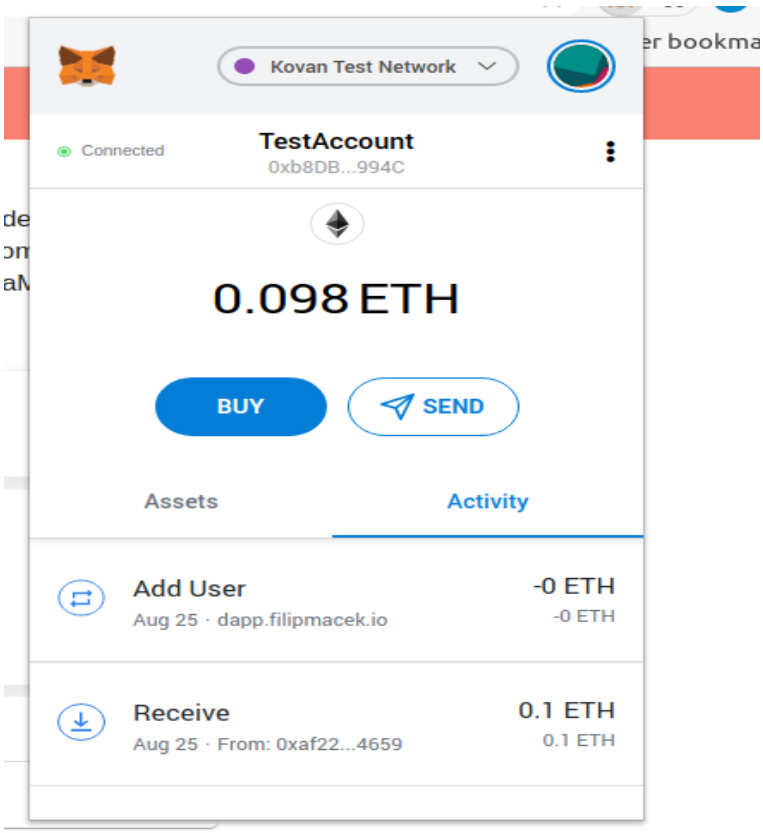


Slika 2.4: Remix IDE za rad sa pametnim ugovorima na Ethreumu

Naš pametni ugovor je na lokalnoj memoriji računala i da bi bio povezan s web alatom Remix IDE -om potrebno mi je dati dopuštenje da iščitava sadržaj foldera u kojem se nalazi naš pametni ugovor. Također da bi ga se moglo upisati i spojiti sa blockchainom potreban je novčanik.

- **Metamask Wallet**

  Metamask je *web browser* koja služio kao digitalni novčanik, a ima i funckionalnost da komunicira sa pametnim ugovorima ili Dapp web aplikacijama. Kako svaka transakcija i upis podataka u pametni ugovor treba neku količinu digitalne valute Ether ovo je neophodan alat za izradu pametnih ugovora na blockchainu.



Slika 2.5: Metamask novčanik

Implementacija

Pametni ugovor napisan u Solidity se ne razlikuje previše od objektnog programiranja i sam pametni ugovor možemo gledati kao jednu veliku klasu koji sadrži svoje varijable i metode/funkcije. Svaki pametni ugovor deklaracije ovih mogućih tipova:

- Varijable stanja
- Funkcija
- Funkcijskih modifikatora - određuju uz koje uvjete se funkcija izvršava
- Događaji
- Struct tipovi – kompleksni tipovi podataka koji sadrže vise različitih varijabli

Opišimo prvo sve kompleksne tipove podatke (eng. Struct) koje ćemo koristi i koje ćemo spremati u niz da bi pametni ugovor imao uvid u sve događaje koji su mu bitni:

- **Korisnik**

```
struct User {
    uint userId;
    string username;
    string password;
    address addr;
    bool isExist;
    uint routesStarted;
    uint routesCanceled;
    uint routesFinished;
    uint routesCompleted;
}
// mapping from user address to userId
mapping(string =>bool) userExistsByUsername;
mapping(address => bool) userExistsByAddress;
mapping(string => uint) userIndexByUsername;
```

- **Ruta**

```
struct Route {
    uint routeId;
    address maker;
    string taker;
    string startLocation;
    string endLocation;
    bool isStarted;
    bool isFinished;
    bool isCompleted;
    string description;
}
 // Routes array
Route[] public routes;
```

Bibliografija

[1] David Lee Chaum, *Computer Systems Established, Maintained and Trusted by Mutually Suspicious Groups*, *(*1982.) University of California, Berkley

[2] Satoshi Nakamoto, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, (2008.) https://bitcoin.org/bitcoin.pdf