Matematiniai modeliai aplink mus – kriptovaliutos

R. Čiegis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
e-mail: rc@vgtu.lt

Vasario 29 d., 2021, Vilnius

- Tradicinis matematinio modeliavimo technologijos rezultatas: naujos ar tobulesnės išmaniosios, greitesnės, saugesnės, pigesnės ir t.t. technologijos, produktai, įrankiai, ginklai ar apsaugos priemonės, vaistai ar nuodai (priklausomai nuo to į kieno rankas patenka šie rezultatai).

- Tradicinis matematinio modeliavimo technologijos rezultatas: naujos ar tobulesnės išmaniosios, greitesnės, saugesnės, pigesnės ir t.t. technologijos, produktai, įrankiai, ginklai ar apsaugos priemonės, vaistai ar nuodai (priklausomai nuo to į kieno rankas patenka šie rezultatai).

- Šioje paskaitoje kalbėsime apie kitą, netgi svarbesnę matematinio modeliavimo galimybę – sukuriamas ne fizinio proceso pakankamai tikslus virtualusis modelis, o skaitmeninis (virtualus) produktas, kuris pakeičia realųjį fizinį objektą.

Aptarkime svarbiausias bet kurios valiutos (pinigų) funkcionavimo sąlygas ir reikalavimus:

- 1. Kas kontroliuoja visus pagrindinius valiutos funkcionavimo etapus? Tradicinės valiutos remiasi centralizuoto valdymo modeliu. Dažniausiai tai atlieka Valstybė ir Centrinis bankas.

Aptarkime svarbiausias bet kurios valiutos (pinigų) funkcionavimo sąlygas ir reikalavimus:

- 1. Kas kontroliuoja visus pagrindinius valiutos funkcionavimo etapus? Tradicinės valiutos remiasi centralizuoto valdymo modeliu. Dažniausiai tai atlieka Valstybė ir Centrinis bankas.
- 2. Nustatomas pinigų spausdinimo grafikas ir poreikis (tai atlieka Valstybė). Deja tada galimas pinigų spausdinimas valstybės skolų dengimui, sukeliantis pinigų nuvertėjimą.

Aptarkime svarbiausias bet kurios valiutos (pinigų) funkcionavimo sąlygas ir reikalavimus:

- 1. Kas kontroliuoja visus pagrindinius valiutos funkcionavimo etapus? Tradicinės valiutos remiasi centralizuoto valdymo modeliu. Dažniausiai tai atlieka Valstybė ir Centrinis bankas.
- 2. Nustatomas pinigų spausdinimo grafikas ir poreikis (tai atlieka Valstybė). Deja tada galimas pinigų spausdinimas valstybės skolų dengimui, sukeliantis pinigų nuvertėjimą.
- 3. Pinigų (banknotų, monetų) apsauga nuo padirbinėjimo (Centrinis bankas, baudžiamoji atsakomybė už pinigų padirbinėjimą, teisinės priemonės).

Aptarkime svarbiausias bet kurios valiutos (pinigų) funkcionavimo sąlygas ir reikalavimus:

- 1. Kas kontroliuoja visus pagrindinius valiutos funkcionavimo etapus? Tradicinės valiutos remiasi centralizuoto valdymo modeliu. Dažniausiai tai atlieka Valstybė ir Centrinis bankas.
- 2. Nustatomas pinigų spausdinimo grafikas ir poreikis (tai atlieka Valstybė). Deja tada galimas pinigų spausdinimas valstybės skolų dengimui, sukeliantis pinigų nuvertėjimą.
- 3. Pinigų (banknotų, monetų) apsauga nuo padirbinėjimo (Centrinis bankas, baudžiamoji atsakomybė už pinigų padirbinėjimą, teisinės priemonės).
- 4. Kliento mokumo patikrinimas (bankai tikrina klientų sąskaitų naudojimą, norėdami atidaryti sąskaitą banke turime pateikti asmeninius duomenis, informaciją apie darbinius santykius). Tačiau bankai užtikrina ir visos informacijos slaptumą, anonimiškumą,

Aptarkime svarbiausias bet kurios valiutos (pinigų) funkcionavimo sąlygas ir reikalavimus:

- 1. Kas kontroliuoja visus pagrindinius valiutos funkcionavimo etapus? Tradicinės valiutos remiasi centralizuoto valdymo modeliu. Dažniausiai tai atlieka Valstybė ir Centrinis bankas.
- 2. Nustatomas pinigų spausdinimo grafikas ir poreikis (tai atlieka Valstybė). Deja tada galimas pinigų spausdinimas valstybės skolų dengimui, sukeliantis pinigų nuvertėjimą.
- 3. Pinigų (banknotų, monetų) apsauga nuo padirbinėjimo (Centrinis bankas, baudžiamoji atsakomybė už pinigų padirbinėjimą, teisinės priemonės).
- 4. Kliento mokumo patikrinimas (bankai tikrina klientų sąskaitų naudojimą, norėdami atidaryti sąskaitą banke turime pateikti asmeninius duomenis, informaciją apie darbinius santykius). Tačiau bankai užtikrina ir visos informacijos slaptumą, anonimiškumą,
- 5. Bankai yra atsakingi už buhalterinės knygos formavimą ir teisingumą, jie kontroliuoja, kad nebūtų vykdomos tokios veiklos, kaip "pinigų plovimas", svetimų sąskaitų panaudojimas.

Elektroniniai pinigai (internetinė prekyba, debetinės ir kreditinės kortelės) yra tik klasikinių pinigų funkcionavimo išmaniosios technologijos.

Kriptovaliutos irgi turi garantuoti svarbiausius suformuluotus reikalavimus. Tačiau tai pasiekiama remiantis DECENTRALIZUOTO valdymo paradigma.

Decentralizuotas internetas, e-paštas – tai kiti decentralizacijos siekiniai.

Nei viename etape nelieka Centro (valstybės, centrinio banko, bankų buhalterinių knygų, su mūsų ID susietų sąskaitų).

Pinigų kiekis kinta pagal iš anksto patvirtintą algoritmą.

Kriptovaliutų funkcionavimas grindžiamas šiuolaikiniais MATEMATIKOS ir INFORMATIKOS rezultatais

Kriptovaliutų funkcionavimas grindžiamas šiuolaikiniais MATEMATIKOS ir INFORMATIKOS rezultatais

- 1. Kriptografijos algoritmais

Kriptovaliutų funkcionavimas grindžiamas šiuolaikiniais MATEMATIKOS ir INFORMATIKOS rezultatais

- 1. Kriptografijos algoritmais
- 2. Efektyviais decentralizuoto sprendimo priėmimo algoritmais

Kriptovaliutų funkcionavimas grindžiamas šiuolaikiniais MATEMATIKOS ir INFORMATIKOS rezultatais

- 1. Kriptografijos algoritmais
- 2. Efektyviais decentralizuoto sprendimo priėmimo algoritmais
- 3. Duomenų struktūromis ir jų realizavimo algoritmais

Kriptovaliutų funkcionavimas grindžiamas šiuolaikiniais MATEMATIKOS ir INFORMATIKOS rezultatais

- 1. Kriptografijos algoritmais
- 2. Efektyviais decentralizuoto sprendimo priėmimo algoritmais
- 3. Duomenų struktūromis ir jų realizavimo algoritmais
- 4. Našiųjų skaičiavimų technologijomis

Kriptovaliutų funkcionavimas grindžiamas šiuolaikiniais MATEMATIKOS ir INFORMATIKOS rezultatais

- 1. Kriptografijos algoritmais
- 2. Efektyviais decentralizuoto sprendimo priėmimo algoritmais
- 3. Duomenų struktūromis ir jų realizavimo algoritmais
- 4. Našiųjų skaičiavimų technologijomis
- 5. Internetinėmis technologijomis

Nagrinėsime populiariausią kriptovaliutą – bitkoinus.

Jie pradėti naudoti 2009 metais, per tą laiką gana smarkiai keitėsi visų veiklų skaitmenizavimas, virtualizavimas, atsirado naujos skaičiavimo ir internetinių technologijų kartos, naudojame 5G internetą.

Pinigų kiekio reguliavimas

- Nauji bitkoinai sukuriami apytiksliai kas 10 minučių. Šiandien jų vertė yra 6.25 BTC. Kas 4 metai šis skaičius yra mažinamas dvigubai (pradžioje tai buvo 50 BTC).
  Mažiausias bitkoino vienetas yra Satoshi:

$$1\ BTC\ =\ 1 \cdot 10^8\ Satoshis.$$

Pinigų kiekio reguliavimas

- Nauji bitkoinai sukuriami apytiksliai kas 10 minučių. Šiandien jų vertė yra 6.25 BTC. Kas 4 metai šis skaičius yra mažinamas dvigubai (pradžioje tai buvo 50 BTC).
  Mažiausias bitkoino vienetas yra Satoshi:

$$1\ BTC\ =\ 1 \cdot 10^8\ Satoshis.$$

- Toks geometrinės progresijos dėsnis garantuoja, kad galutinis pinigų kiekis yra ribojamas 21 mln., ir tai atsitiks 2140 metais. Taip pat visada yra žinomas egzistuojančių pinigų kiekis. Šiuo metu jau turime apie 18.6 mln. bitkoinų.

Bitkoinų monetų savybės

- Monetos vertė gali būti bet kokia, ji užduodama 1 Satoshi tikslumu.

Bitkoinų monetų savybės

- Monetos vertė gali būti bet kokia, ji užduodama 1 Satoshi tikslumu.
- Bitkoino monetos šeimininkas transakcijos metu sumoka visą jos vertę ir tada moneta išnyksta.

Bitkoinų monetų savybės

- Monetos vertė gali būti bet kokia, ji užduodama 1 Satoshi tikslumu.
- Bitkoino monetos šeimininkas transakcijos metu sumoka visą jos vertę ir tada moneta išnyksta.
- Jeigu 10.337 BTC vertės moneta mokame už 2.12 BTC paslaugą, tai likusius 8.217 BTC pervedame į savo sąskaitą, sukurdami naują tokios vertės monetą.

Bitkoinų monetų savybės

- Monetos vertė gali būti bet kokia, ji užduodama 1 Satoshi tikslumu.
- Bitkoino monetos šeimininkas transakcijos metu sumoka visą jos vertę ir tada moneta išnyksta.
- Jeigu 10.337 BTC vertės moneta mokame už 2.12 BTC paslaugą, tai likusius 8.217 BTC pervedame į savo sąskaitą, sukurdami naują tokios vertės monetą.
- Monetos vertės likutis tampa mokesčiu (transaction fee) tam tinklo atstovui, kuris įtraukia bloką su šia transakcija į Buhalterinę knygą (distributed ledger).

Skaitmeninio parašo schema

Monetos savininkas patvirtina transakcijos teisėtumą skaitmeniniu parašu (pirmasis ir labai svarbus kriptografijos elementas).

Skaitmeninis parašas generuojamas kokiu nors patikimu viešiojo rakto pasikeitimo algoritmu (pvz. RSA, diskrečiojo logaritmo algoritmais).

- 1. Generuojame atsitiktinį slaptąjį (privatųjį) raktą sk, tada apskaičiuojame jį atitinkantį viešąjį raktą pk.

Skaitmeninio parašo schema

Monetos savininkas patvirtina transakcijos teisėtumą skaitmeniniu parašu (pirmasis ir labai svarbus kriptografijos elementas).

Skaitmeninis parašas generuojamas kokiu nors patikimu viešiojo rakto pasikeitimo algoritmu (pvz. RSA, diskrečiojo logaritmo algoritmais).

- 1. Generuojame atsitiktinį slaptąjį (privatųjį) raktą sk, tada apskaičiuojame jį atitinkantį viešąjį raktą pk.
- 2. Tik šeimininkas gali pasirašyti dokumentą M:

$$sig := sign(sk, M).$$

Skaitmeninio parašo schema

Monetos savininkas patvirtina transakcijos teisėtumą skaitmeniniu parašu (pirmasis ir labai svarbus kriptografijos elementas).

Skaitmeninis parašas generuojamas kokiu nors patikimu viešiojo rakto pasikeitimo algoritmu (pvz. RSA, diskrečiojo logaritmo algoritmais).

- 1. Generuojame atsitiktinį slaptąjį (privatųjį) raktą sk, tada apskaičiuojame jį atitinkantį viešąjį raktą pk.
- 2. Tik šeimininkas gali pasirašyti dokumentą M:

$$sig := sign(sk, M).$$

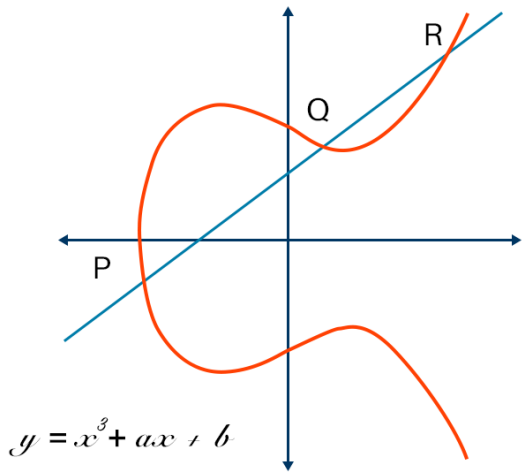
- 3. Visi gali patikrinti parašo teisingumą

$$M := verify(pk, sig).$$

Elipsinių kreivių skaitmeninio parašo algoritmas

Bitkoinų protokole naudojamas kriptografinis ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm) algoritmas.

Jis remiasi elipsinių kreivių (pvz. $y^2 = x^3 + ax + b$) taškų daugybos operacija.



$$P + Q + R = 0.$$

Egzistuoja greitieji daugybos algoritmai, bet nėra žinomi greitieji logoritmavimo algoritmai. Vėl tenka naudoti pilnąjį perrinkimą.

Viešojo rakto pk – public key pavyzdys:

044d05240cfbd8a2786eda9dadd520c1609b8593ff8641018d57703d02ba687cf2f187f0cee2221c3afb1b5ff7888caced2423916b61444666ca1216f26181398c

Formatas: taško $P(x, y)$ koordinatės x ir y, jų ilgiai po 32 baitus

$$pk = 04\ x\ y$$

Tada privataus rakto pk ilgis yra $1 + 32 + 32 = 65$ baitai, arba 130 hex simbolių, arba 520 bitų.

Kriptografinės santraukos funkcijos

Bitkoinų protokole viešajam raktui pk yra skirta dar viena svarbi ir įdomi savybė. Šis raktas yra naudojamas kaip kliento sąskaitos ID.

- Kiekvieną kartą, kai generuojamas viešasis raktas, sukūriama nauja sąskaita.

Kriptografinės santraukos funkcijos

Bitkoinų protokole viešajam raktui pk yra skirta dar viena svarbi ir įdomi savybė. Šis raktas yra naudojamas kaip kliento sąskaitos ID.

- Kiekvieną kartą, kai generuojamas viešasis raktas, sukūriama nauja sąskaita.
- Kiekvienas žmogus tai gali padaryti pats, nereikia jokių leidimų ar patikrinimų.

Kriptografinės santraukos funkcijos

Bitkoinų protokole viešajam raktui pk yra skirta dar viena svarbi ir įdomi savybė. Šis raktas yra naudojamas kaip kliento sąskaitos ID.

- Kiekvieną kartą, kai generuojamas viešasis raktas, sukūriama nauja sąskaita.
- Kiekvienas žmogus tai gali padaryti pats, nereikia jokių leidimų ar patikrinimų.
- Turimų sąskaitų skaičius yra neribojamas.

Kriptografinės santraukos funkcijos

Bitkoinų protokole viešajam raktui pk yra skirta dar viena svarbi ir įdomi savybė. Šis raktas yra naudojamas kaip kliento sąskaitos ID.

- Kiekvieną kartą, kai generuojamas viešasis raktas, sukūriama nauja sąskaita.
- Kiekvienas žmogus tai gali padaryti pats, nereikia jokių leidimų ar patikrinimų.
- Turimų sąskaitų skaičius yra neribojamas.
- Nėra tiesioginės galimybės identifikuoti, kam priklauso viena ar kita sąskaita.

Kriptografinės santraukos funkcijos

Bitkoinų protokole viešajam raktui pk yra skirta dar viena svarbi ir įdomi savybė. Šis raktas yra naudojamas kaip kliento sąskaitos ID.

- Kiekvieną kartą, kai generuojamas viešasis raktas, sukūriama nauja sąskaita.
- Kiekvienas žmogus tai gali padaryti pats, nereikia jokių leidimų ar patikrinimų.
- Turimų sąskaitų skaičius yra neribojamas.
- Nėra tiesioginės galimybės identifikuoti, kam priklauso viena ar kita sąskaita.
- Tačiau, pilno anonimškumo bitkoino adresai nesuteikia. Kaip matysime, tai yra kompromisas tarp kliento sąskaitos saugumo, mokėjimų patikimumo ir decentralizacijos principo.

Hash funkcijos

- Kriptografinė santraukos funkcija $h(x)$ kintamo ilgio (baigtinio) žodžius (strings) x atvaizduoja į fiksuoto ilgio žodžius – suspaudimo savybė.

Hash funkcijos

- Kriptografinė santraukos funkcija $h(x)$ kintamo ilgio (baigtinio) žodžius (strings) x atvaizduoja į fiksuoto ilgio žodžius – suspaudimo savybė.
- Tai vienakryptės funkcijos – duotajam x lengva apskaičiuoti vaizdą $y = h(x)$, bet žinant y sunku surasti x – slėpimo savybė.

Hash funkcijos

- Kriptografinė santraukos funkcija $h(x)$ kintamo ilgio (baigtinio) žodžius (strings) x atvaizduoja į fiksuoto ilgio žodžius – suspaudimo savybė.
- Tai vienakryptės funkcijos – duotajam x lengva apskaičiuoti vaizdą $y = h(x)$, bet žinant y sunku surasti x – slėpimo savybė.
- Mus domina santraukos funkcijos, kurios yra atsparios kolizijoms – duotajam x_1 sunku surasti $x_2 \neq x_1$, kad galiotų lygybė $h(x_1) = h(x_2)$.

Hash funkcijos

- Kriptografinė santraukos funkcija $h(x)$ kintamo ilgio (baigtinio) žodžius (strings) x atvaizduoja į fiksuoto ilgio žodžius – suspaudimo savybė.
- Tai vienakryptės funkcijos – duotajam x lengva apskaičiuoti vaizdą $y = h(x)$, bet žinant y sunku surasti x – slėpimo savybė.
- Mus domina santraukos funkcijos, kurios yra atsparios kolizijoms – duotajam x_1 sunku surasti $x_2 \neq x_1$, kad galiotų lygybė $h(x_1) = h(x_2)$.
- Matematinis uždavinys, kai žinome žodį (stringą) x, turime leistinų santraukos reikšmių aibę D, o reikia surasti tokį papildomą žodį n, kad galiotų sąlyga

$$h(n||x) \in D,$$

yra išsprenžiamas tik pilnojo perrinkimo metodu. Čia $n||x$ yra stringas, gaunamas apjungus n ir x. Pavyzdžiui, aibei D priklauso santraukos, kurios prasideda m nulių.

Santraukos funkcijos yra labai populiarus įrankis

a) realizuojant duomenų saugyklas debesijoje,

b) informacijos paieškos algoritmuose.

Bitkoinų protokole apibrėžta, kad viešojo rakto pk santrauką pkh skaičiuojame paeiliui pritaikydami dvi skirtingas funkcijas:

$$pkh = HASH160(pk) := RIPEMD160(SHA256(pk)).$$

SHA256 yra SHA-2 (Secure Hash Algorithm 2) algoritmų šeimos atstovas. Ši funkcija generuoja 256 bitų (32 baitų) santrauką.

RIPEMD160 yra RIPEMD algoritmų šeimos atstovas. Ši funkcija generuoja 160 bitų (20 baitų) santrauką.

Viešojo rakto pk santrauka pkh irgi apibrėžia tinklo dalyvio adresą.

pk

044d05240cfbd8a2786eda9dadd520c1609b8593ff8641018d57703d02ba
687cf2f187f0cee2221c3afb1b5ff7888caced2423916b61444666ca1216
f26181398c

SHA256(pk)

a8c0b9c1ee07b2442387c7f0f6ac32d646d7ff6d385e8762e989f634dda584a5

adresas HASH160(pk)

2e67490797078511cfde499434ed6a564ad41ef0

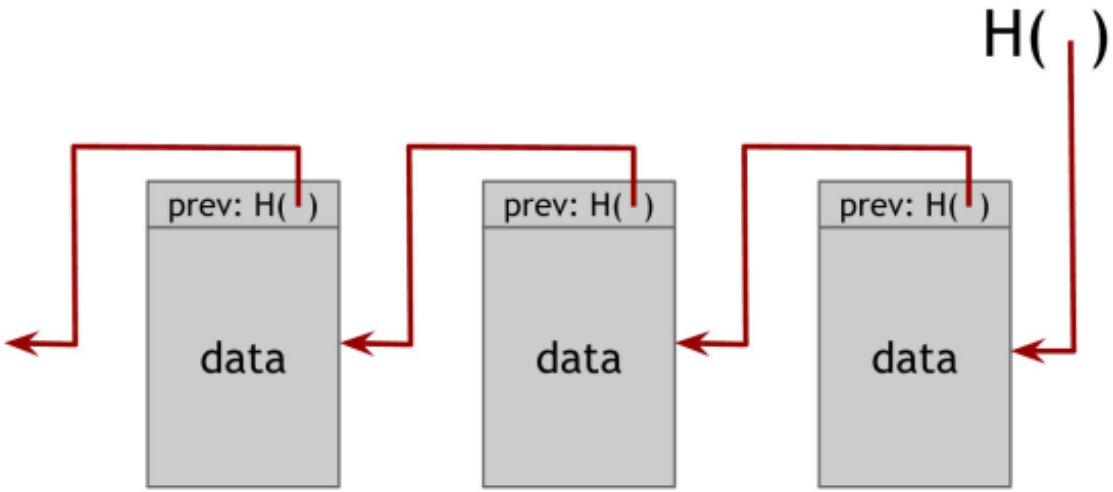
adresas BASE58(HASH160(pk))

eVkea3yfmMy7NYxHtMHoicLGuXm

Blokų grandinės

Bitkoinų saugumą garantuoja dvi pagrindinės technologijos. Tai blokų grandinės (blockchains) ir kriptografiniai transakcijų realizavimo algoritmai.

Blokų grandinė yra panaši į universalią duomenų struktūrą – tiesinį sąrašą. Kiekvienas blokas, kuriame saugome informaciją, turi rodyklę, kuri rodo į kaimyninį bloką (jo adresą kompiuterio atmintyje).



Tačiau rodyklė $H()$ yra kriptografinė.

- Kiekviename bloke saugome ir jo duomenų (informacijos) santrauką – hash reikšmę. Ją apskaičiuojame du kartus iš eilės panaudodami SHA256 funkciją.
  Ši santrauka yra bloko unikalus ID.

Tačiau rodyklė $H()$ yra kriptografinė.

- Kiekviename bloke saugome ir jo duomenų (informacijos) santrauką – hash reikšmę. Ją apskaičiuojame du kartus iš eilės panaudodami SHA256 funkciją.
  Ši santrauka yra bloko unikalus ID.
- Rodyklėje $H()$ saugome kaimyninio (prieš tai buvusio) bloko santrauką. Šis kaimyno ID (santrauka) yra dalis informacijos, patalpintos naujame bloke.

- Taigi, jeigu bandysime pakeisti kažkurio bloko duomenis, tai pasikeis ir jo ID.

- Taigi, jeigu bandysime pakeisti kažkurio bloko duomenis, tai pasikeis ir jo ID.
- Norėdami paslėpti šį nusikaltimą, turime pakeisti ir po jo einančio bloko rodyklės informaciją $H()$. Tai pakeis ir šio bloko informacijos santrauką.

- Taigi, jeigu bandysime pakeisti kažkurio bloko duomenis, tai pasikeis ir jo ID.
- Norėdami paslėpti šį nusikaltimą, turime pakeisti ir po jo einančio bloko rodyklės informaciją $H()$. Tai pakeis ir šio bloko informacijos santrauką.
- Tęsdami procesą pasieksime visos blokų grandinės rodyklę, o jos pakeisti negalime (ji yra viešai publikuota).

- Taigi, jeigu bandysime pakeisti kažkurio bloko duomenis, tai pasikeis ir jo ID.
- Norėdami paslėpti šį nusikaltimą, turime pakeisti ir po jo einančio bloko rodyklės informaciją $H()$. Tai pakeis ir šio bloko informacijos santrauką.
- Tęsdami procesą pasieksime visos blokų grandinės rodyklę, o jos pakeisti negalime (ji yra viešai publikuota).
- Kol kas tarsime, kad egzistuoja toks Centras, kuriam patikėtas blokų grandinės rodyklės $H()$ saugojimas. Vėliau parodysime, kad bitkoinų technologijoje Centras nenaudojams, ši kriptovaliuta gyvuoja decentralizuotoje aplinkoje.

Transakcijos

Transakcijos yra svarbiausia informacinė bitkoinų dalis.

Tai duomenų struktūra (nepamirškime, kad bitkoinai yra virtuali valiuta), kurioje užšifruota/užkoduota informacija apie tai, kokie mainai vykdomi tarp bitkoinų sistemos dalyvių.

Ši informacija yra talpinama ir saugoma Buhalterinėje knygoje, realizuotoje panaudojant paskirstytąją blokų grandinę.

Pavojai?

Kokius svarbiausius pavojus galime prognozuoti (šį sąrašą kviečiu papildyti savo variantais):

Visa informacija apie nepanaudotas monetas yra skelbiama viešai, ar galiu panaudoti man nepriklausančius pinigus?

Ar galiu atlikti dvigubą mokėjimą – t.y. ta pačia SAVO moneta apmokėti dvi skirtingas sąskaitas?

Ar galiu į Buhalterinę knygą įrašyti neteisingas transakcijas?

Transakcijos gyvavimo ciklas

1. Transakcija sukūriama – nurodoma, kokias lėšas ji naudoja ir kaip šios lėšos bus paskirstytos.

2. Lėšų savininkai pasirašo/patvirtina šį paliepimą (kriptografiniais skaitiniais parašais).

3. Patikrinus sukurtos transakcijos sudarymo teisingumą ir jos leistinumą, ji įtraukiama į blokų grandinę.

4. Naujieji lėšų savininkai gali jas naudoti, t.y. kurti naujas transakcijas.

Transakcijos struktūra bloko viduje:

1. Lėšų šaltinių aprašai (Inputs) – kokioje transakcijoje ir kelintame jos pavedime (Output Counter) buvo paskirti pinigai.

2. Kam ir kiek skirta lėšų (Outputs)

3. Transakciją pasirašo visi sistemos dalyviai, kurie skiria savo lėšas (priminsime, kad skaitmeninio parašo būtina sudedamoji dalis yra pasirašančiojo viešasis raktas pk).

Labai svarbu suprasti, kad bitkoinų protokole nėra tokios sąvokos, kaip sistemos dalyvio sąskaitos balansas.

Blokų grandinėje galime tik surasti tas monetas ir jų vertes, kurių bitkoinų savininkai dar neišleido – jos vadinamos UTXO (unspent transaction output).

Jus turite tiek pinigų, kiek jų yra su Jūsų adresais susietose dar napanaudotose monetose, kurias pripažįsta kiti tinklo dalyviai.

Lėšų paskirstymo formatas

1. Monetos vertė Satoshiais (10^{-8} BTC) 8 baitai

2. Pinigų užraktas (Locking Script) – nurodo sąlygas, kurias turi išpildyti tas, kas norės panaudoti lėšas.

Skripto tekstas gali reikšti tokį reikalavimą:

Pinigai yra skirti sistemos dalyviui, kurio viešojo rakto santrauka yra *pkh* ir kuris gali savo transakciją patvirtinti skaitmeniniu parašu, atitinkančiu jo nurodytą viešąjį raktą *pk*.

https://en.bitcoin.it/wiki/Transaction

Input:
Previous tx:
f5d8ee39a430901c91a5917b9f2dc19d6d1a0e9cea205b009ca73dd04470b9a6
Index: 0
scriptSig:
304502206e21798a42fae0e854281abd38bacd1aeed3ee3738d9e1446618c4571
d1090db022100e2ac980643b0b82c0e88ffdfec6b64e3e6ba35e7ba5fdd7d5d6c
c8d25c6b241501

Output:
Value: 524300000
scriptPubKey: *OP_DUP* *OP_HASH160*
404371705fa9bd789a2fcd52d2c580b65d35549d
OP_EQUALVERIFY *OP_CHECKSIG*

Naujos transakcijos lėšų šaltinio patvirtinimas skaitmeniniu parašu:

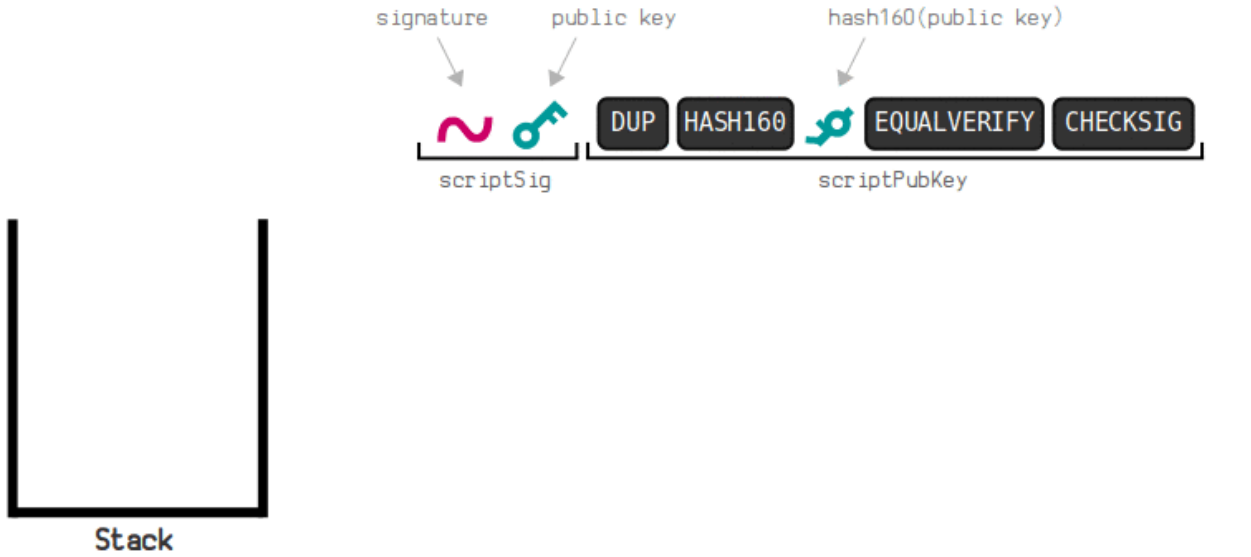
scriptSig: <sig> <pubKey>

Informacija apie užrakto reikalavimus transakcijoje, kurioje buvo suformuotas šis šaltinis (bitkoino moneta):

scriptPubKey: *OP_DUP OP_HASH*160 <pubKeyHash> *OP_EQUALVERIFY OP_CHECKSIG*

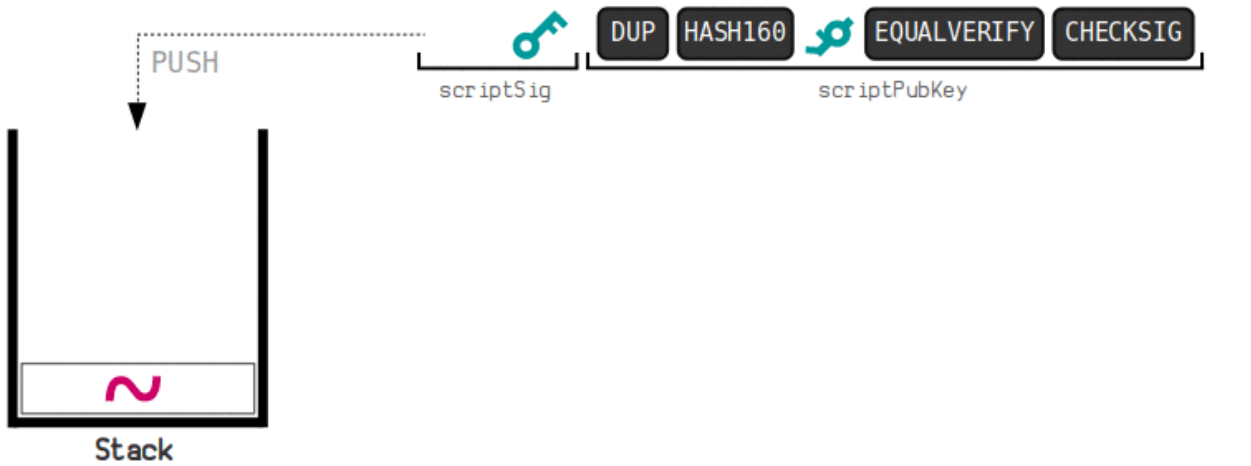
Skriptai realizuojami panaudojant svarbiausią informatikoje duomenų struktūrą – steką.

Standard Script: P2PKH



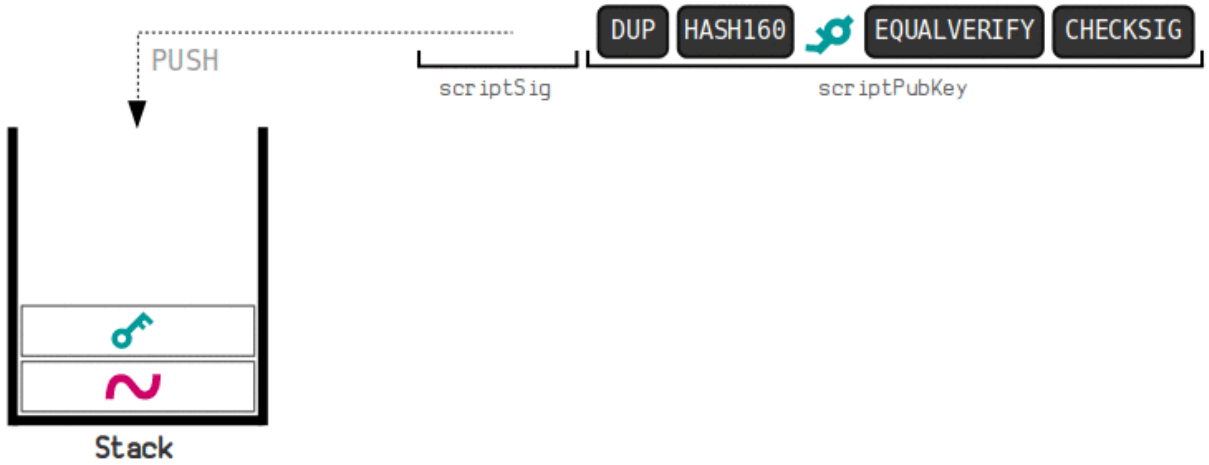
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



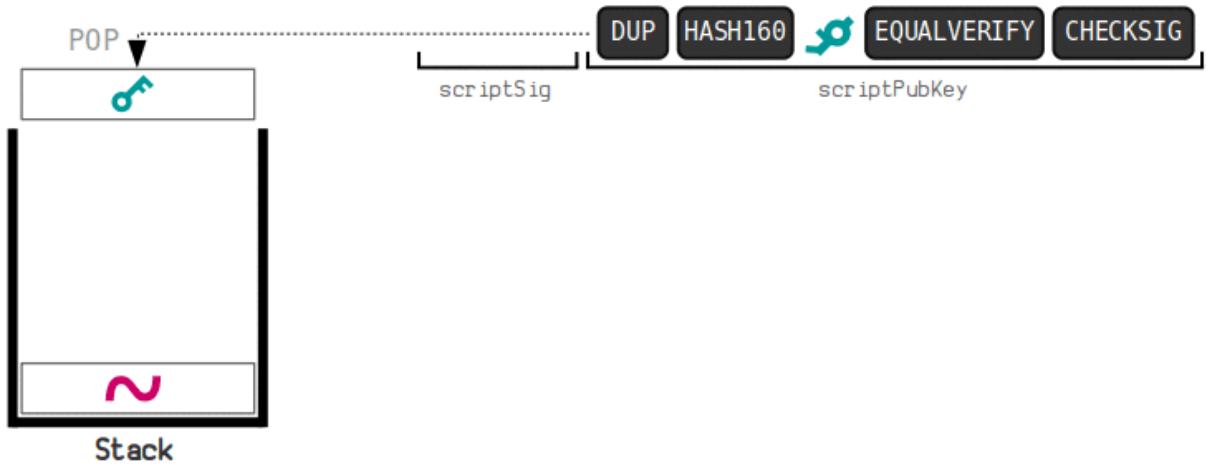
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



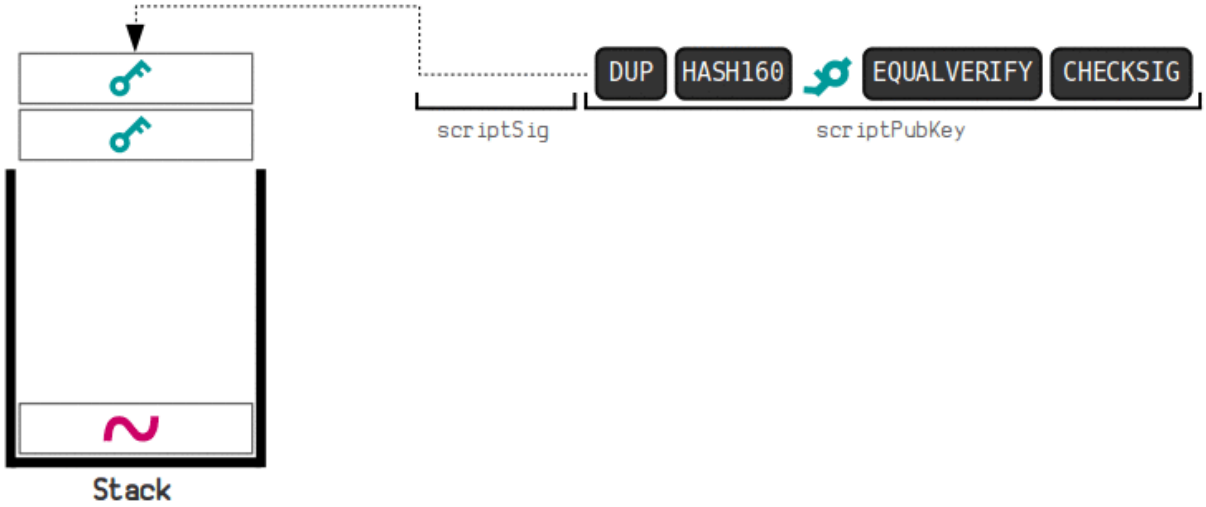
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



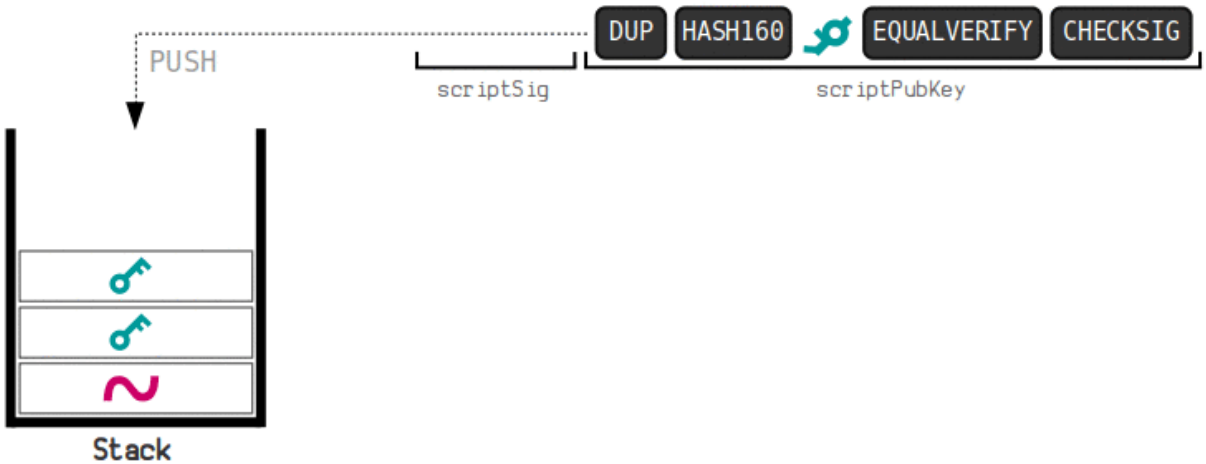
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



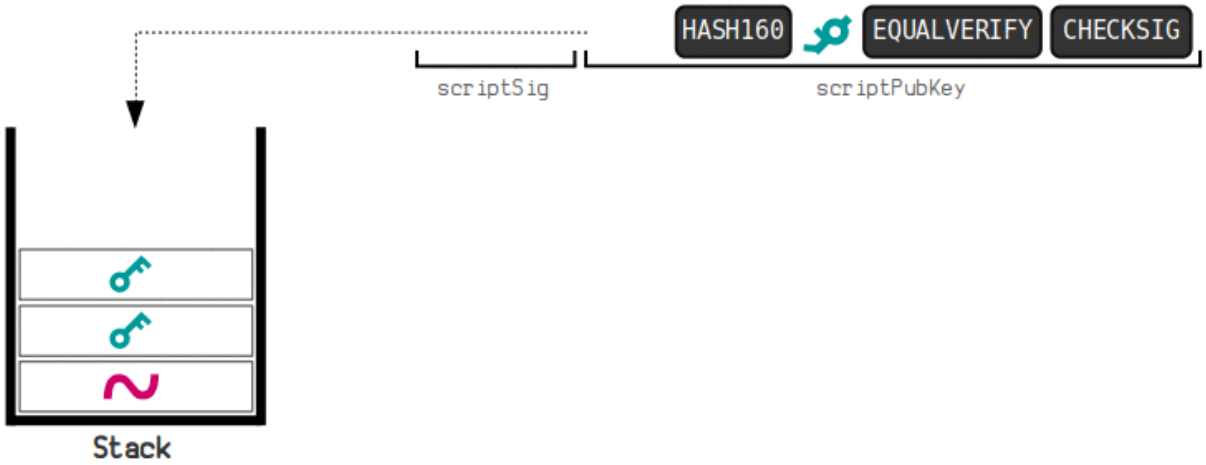
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



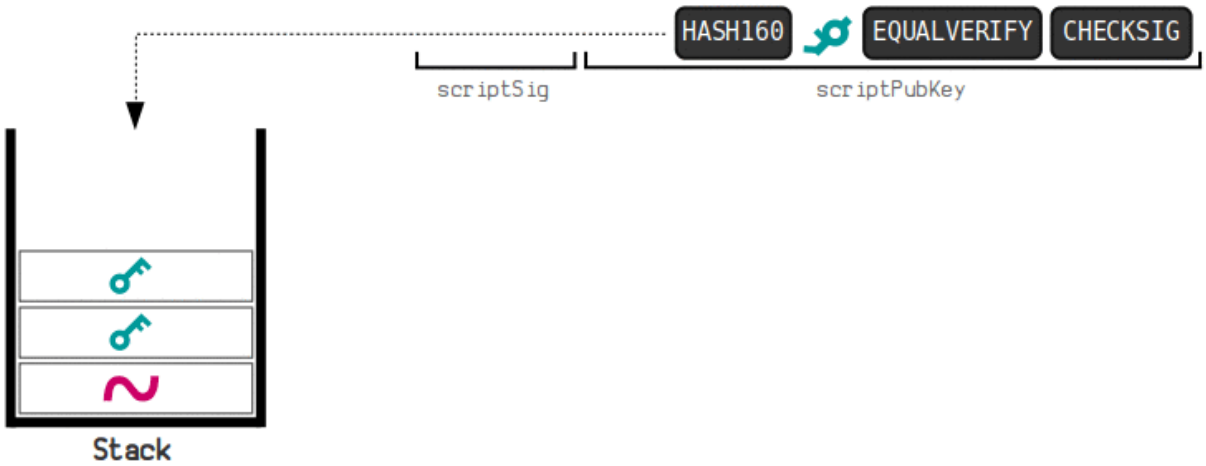
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



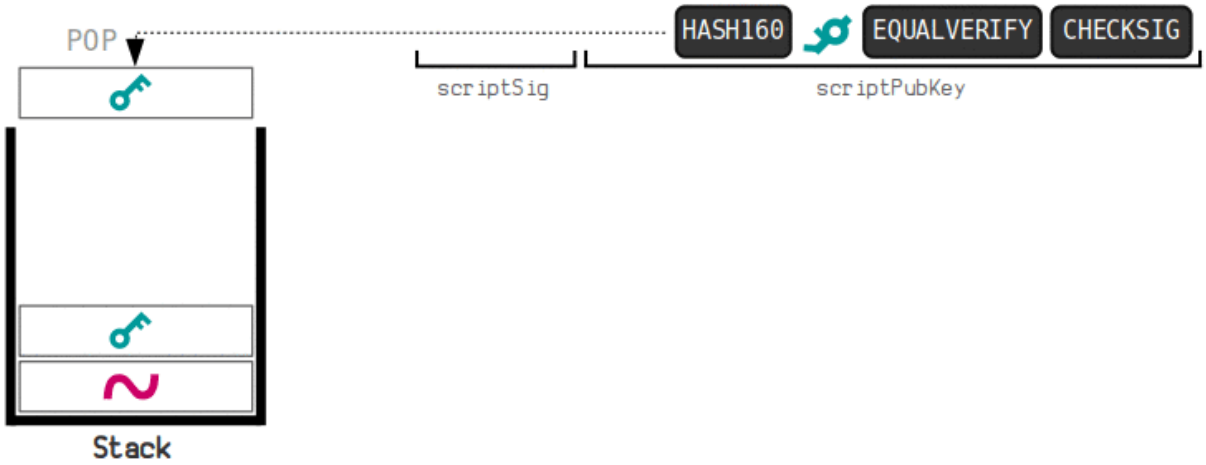
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



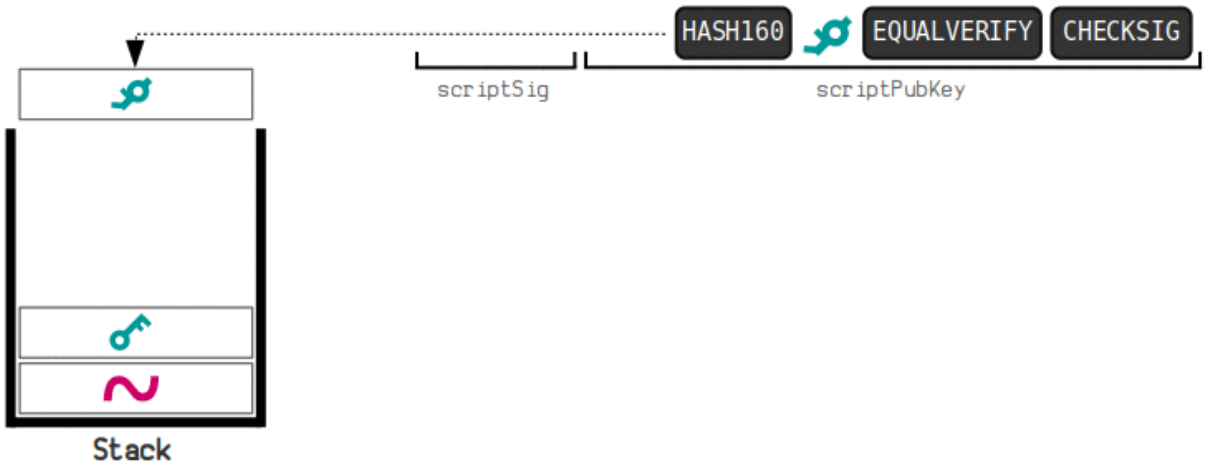
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



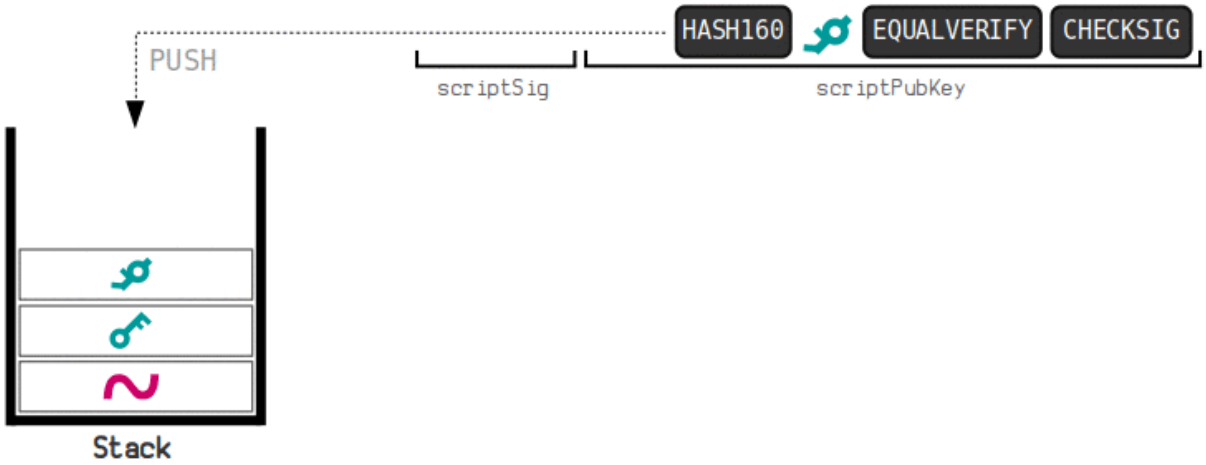
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



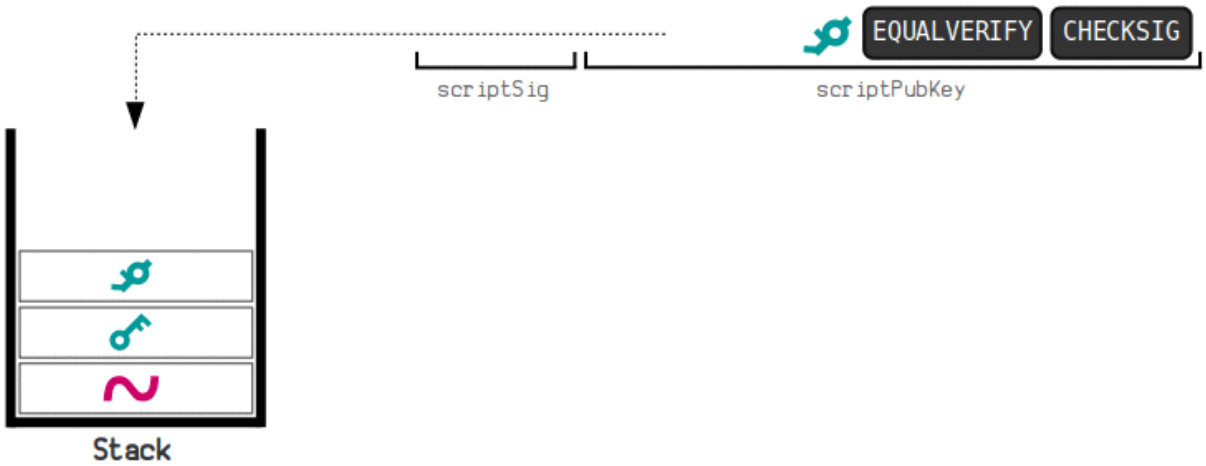
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



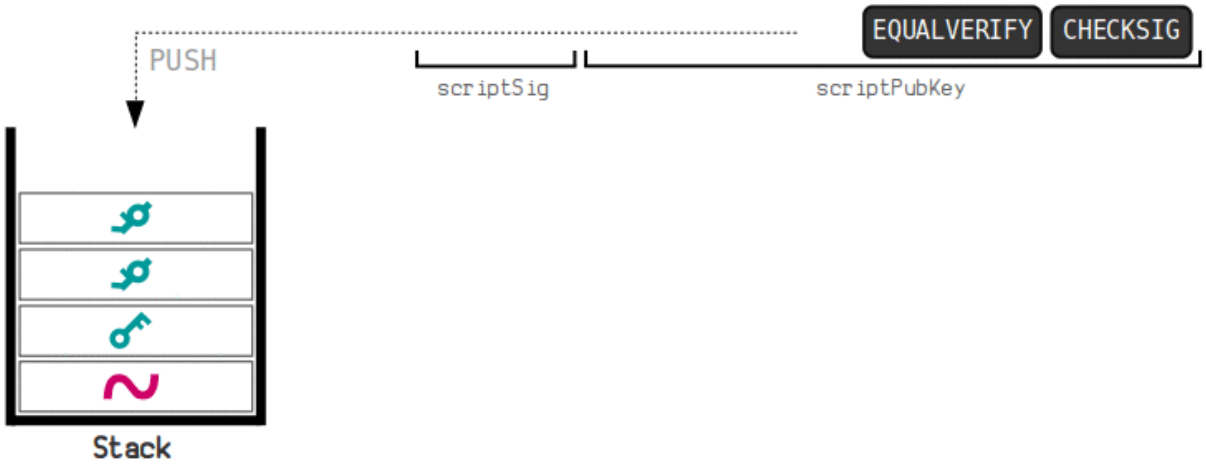
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH

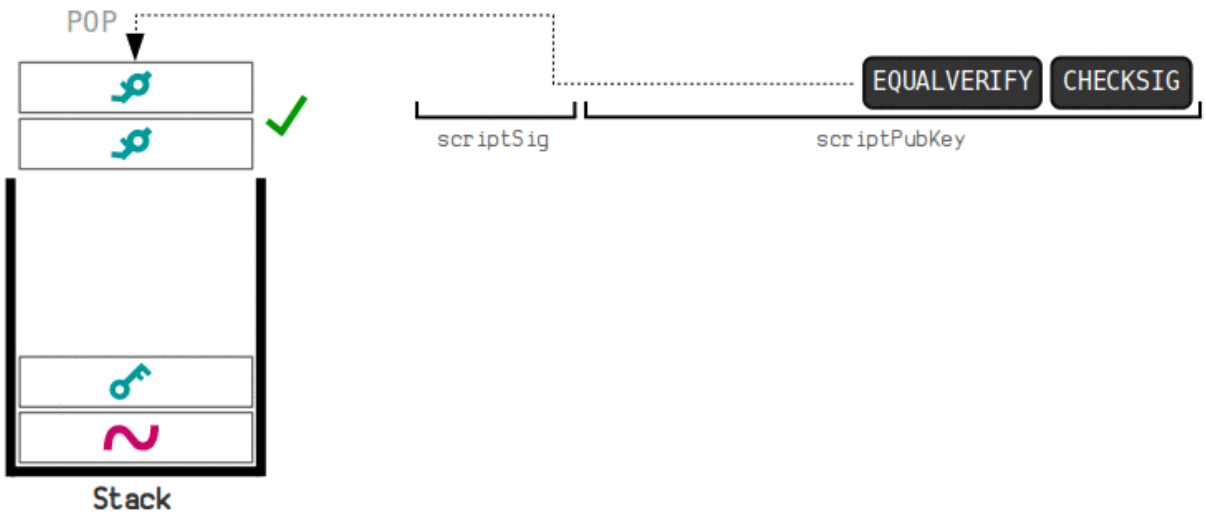


learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH

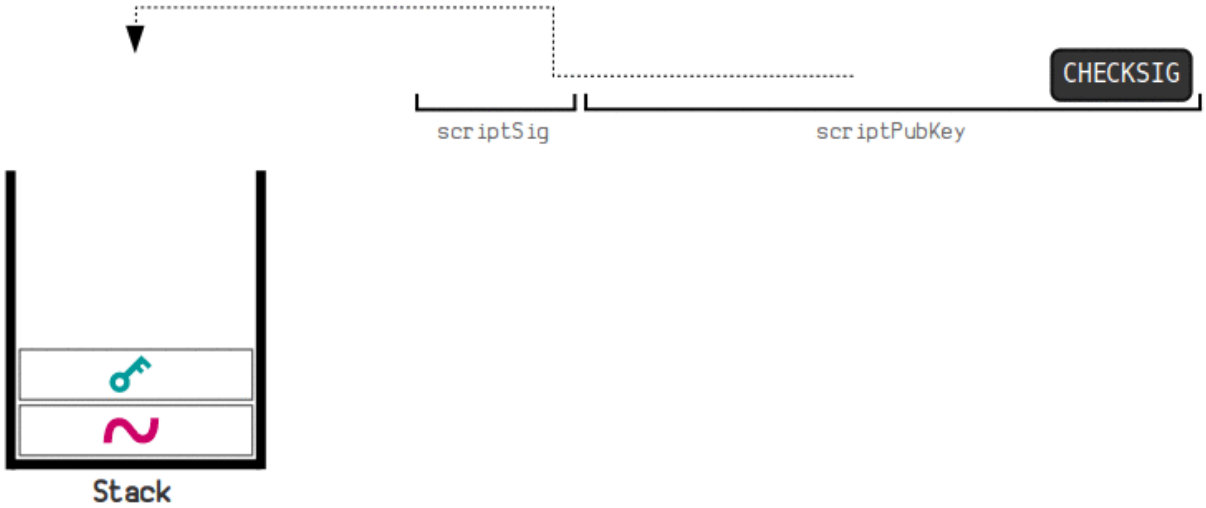
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



learnmeabitcoin.com

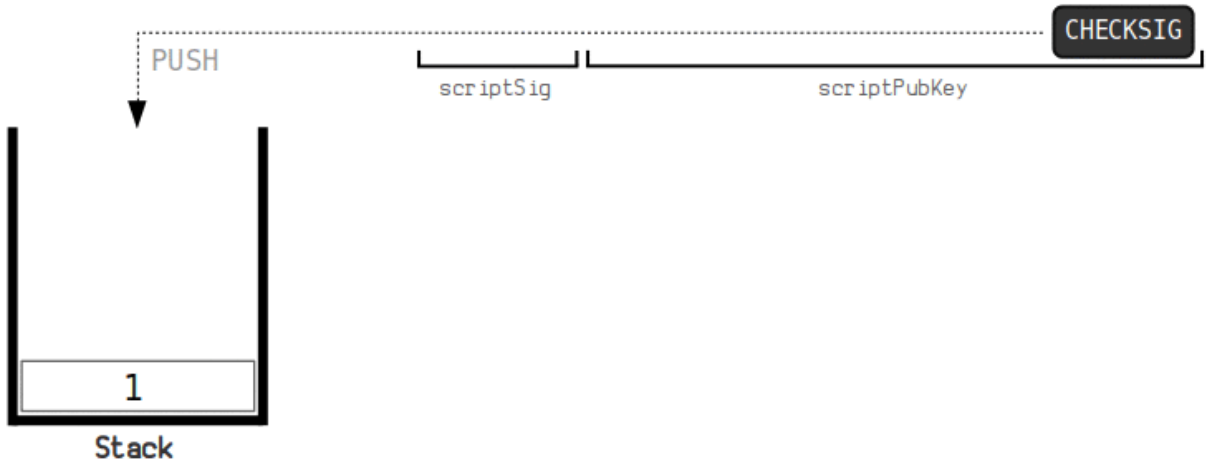
Standard Script: P2PKH

learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH

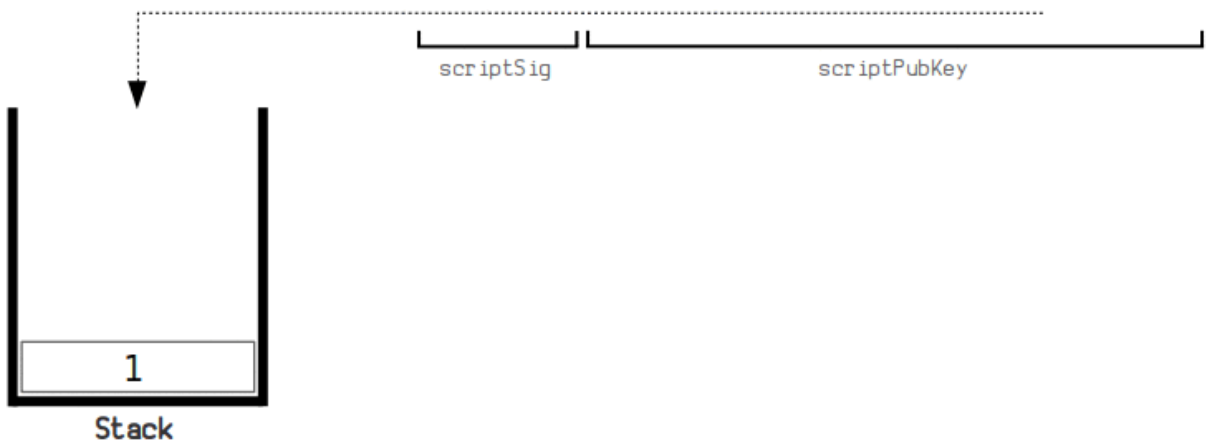
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



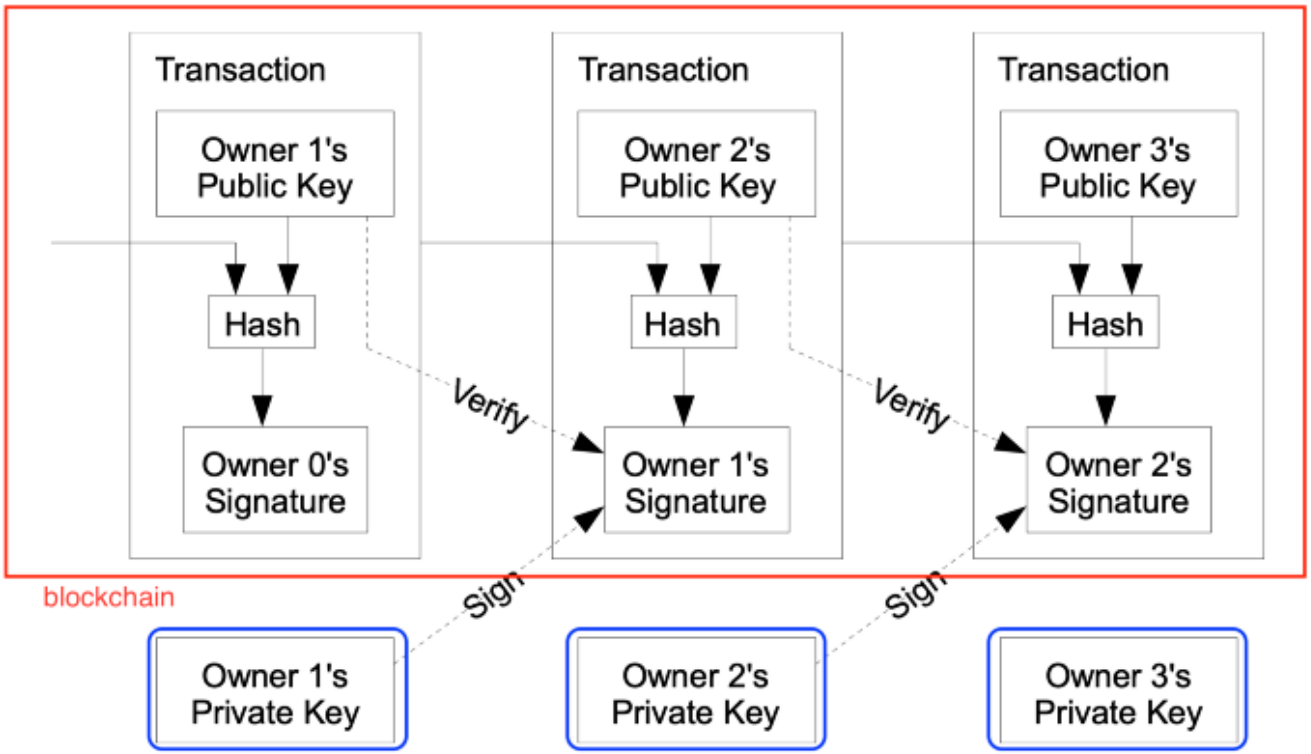
learnmeabitcoin.com

Standard Script: P2PKH



learnmeabitcoin.com

Transakcijų grandinė



Transakcijų blokų grandinė – blockchain

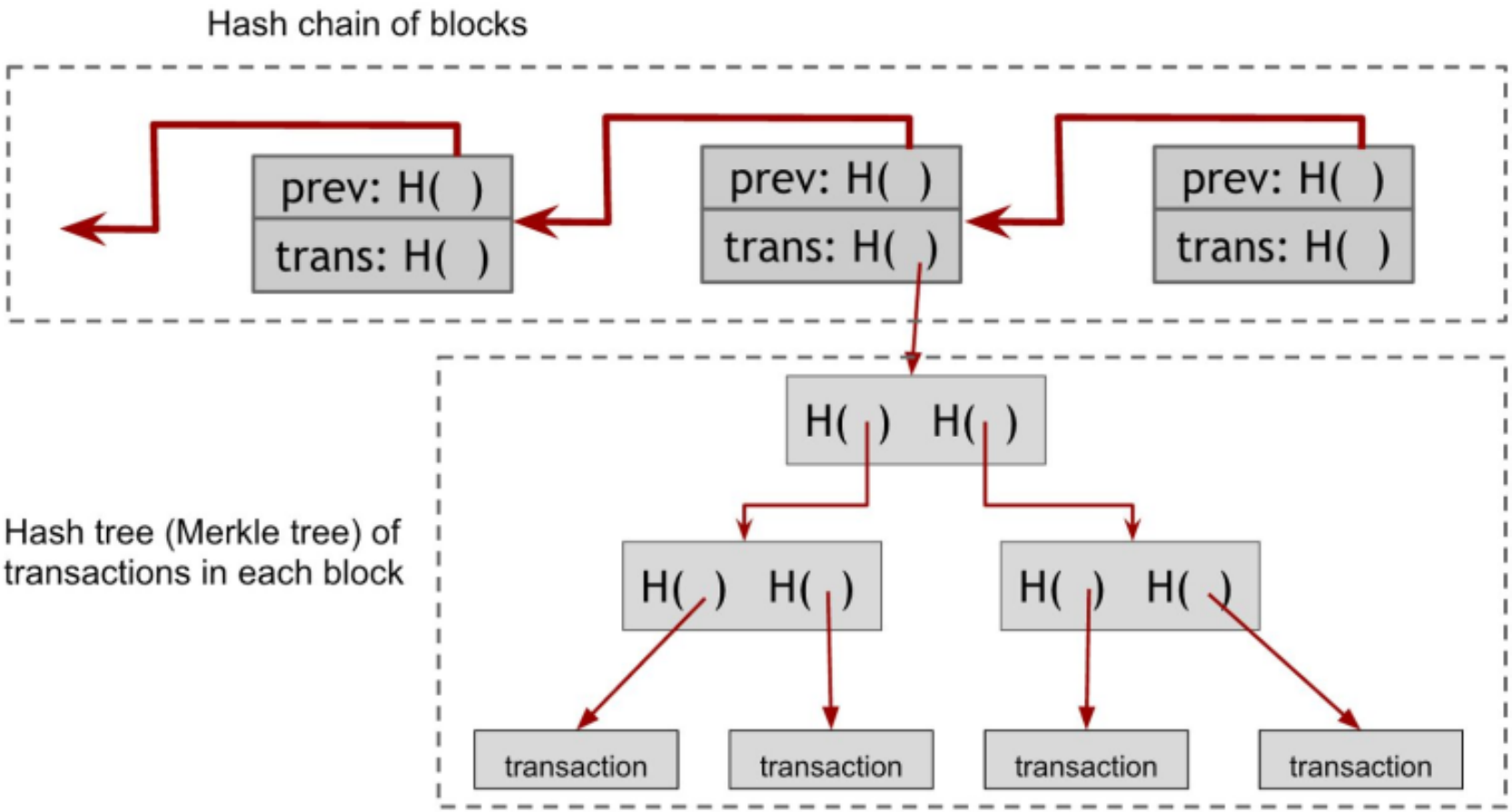
- Transakcijos saugomos blokuose, kiekvieno bloko dydis iki 1 MB.

Transakcijų blokų grandinė – blockchain

- Transakcijos saugomos blokuose, kiekvieno bloko dydis iki 1 MB.
- Viename bloke talpiname vidutiniškai 2200 transakcijų.

Transakcijų blokų grandinė – blockchain

- Transakcijos saugomos blokuose, kiekvieno bloko dydis iki 1 MB.
- Viename bloke talpiname vidutiniškai 2200 transakcijų.
- Bloke transakcijos saugomos binarinio santraukų medžio duomenų struktūroje (hash tree arba Merkle tree)


Hash chain of blocks
prev: H( )
trans: H( )
prev: H( )
trans: H( )
prev: H( )
trans: H( )
Hash tree (Merkle tree) of transactions in each block
H( ) H( )
H( ) H( )
H( ) H( )
transaction
transaction
transaction
transaction

Decentralizuota sistema

Pirmasis tokios sistemos elementas yra Peer to Peer (P2P) tinklas. Tinklo nariai yra sujungti internetu ir tiesiogiai bendrauja su nedideliu kiekiu "kaimynų". Tačiau per keletą tarpininkų jie gali perduoti informaciją visiems tuo metu tinkle esantiems nariams.

Tokio tinklo vartotojai yra lygiaverčiai, kiekvienas veikia ir kaip klientas, ir kaip serveris. Jie siunčia ir gauna bitkoinus nesinaudodami tarpininkų leidimais ar paslaugomis.

Blokų grandinė yra saugi, nes paskirstytame tinkle saugoma daug jos kopijų.

Nuolat vyksta narių kaita: vieni pasitraukia, kiti ateina.

Bitkoinų P2P tinkle naudojamas paskelbtasis kriptografinis protokolas ir jame atliekami visi mokėjimai.

Visi sprendimai yra priimami konsensuso principu.
Nėra jokio sinchronizacijos taško, bet garantuojama, kad per tam tikrą laiką šį sprendimą patvirtins visi tinklo nariai, t.y. jie vėl vykdo tą patį algoritmą ir saugo vienodas blokų grandines.

Antrasis sistemos saugumo ir decentralizacijos elementas grindžiamas algoritmu, kaip naujasis blokas yra įtraukiamas į blokų grandinę. Nenaudojama jokia (centralizuota) taisyklė, pasakanti, kurio tinklo nario parengtas naujas blokas bus įtrauktas.

- Reikia išspręsti sudėtingą matematinį uždavinį, kai vienintelis žinomas sprendimo būdas yra perrinkti visus variantus.

Antrasis sistemos saugumo ir decentralizacijos elementas grindžiamas algoritmu, kaip naujasis blokas yra įtraukiamas į blokų grandinę. Nenaudojama jokia (centralizuota) taisyklė, pasakanti, kurio tinklo nario parengtas naujas blokas bus įtrauktas.

- Reikia išspręsti sudėtingą matematinį uždavinį, kai vienintelis žinomas sprendimo būdas yra perrinkti visus variantus.
- Prie bloko metadatos informacijos prijungiamas papildomas stringas, (nonce), kurio ilgis 32 bitai. Keisdami šiuos bitus turime surasti tokią jo reikšmę, kad viso bloko santrauka būtų mažesnė už nurodytą slenkstinę reikšmę target. Tokia santrauka turi prasidėti nurodytu skaičiumi nulių.

- Didėjant tinklo skaičiavimo pajėgumams, tenka padidinti pasirenkamų bitų skaičių, nes 32 bitų neužtenka, kad uždavinio sprendimo laikas būtų 10 minučių (tam reikia daugiau nei 60 bitų).

- Didėjant tinklo skaičiavimo pajėgumams, tenka padidinti pasirenkamų bitų skaičių, nes 32 bitų neužtenka, kad uždavinio sprendimo laikas būtų 10 minučių (tam reikia daugiau nei 60 bitų).
- Papildomą Extra nonce rekomenduojama užduoti coinbase transakcijoje.

- Didėjant tinklo skaičiavimo pajėgumams, tenka padidinti pasirenkamų bitų skaičių, nes 32 bitų neužtenka, kad uždavinio sprendimo laikas būtų 10 minučių (tam reikia daugiau nei 60 bitų).
- Papildomą Extra nonce rekomenduojama užduoti coinbase transakcijoje.
- Uždavinio sudėtingumas koreguojamas kiekvieną kartą, kai į tinklą įtraukiami 2016 naujų blokų (maždaug, kas 14 dienų). Jeigu vidutinis vieno bloko generavimo laikas buvo mažesnis nei 10 minučių, tai padidinamas matematinio uždavinio sudėtingumas, priešingu atveju - sumažinamas.

- Sprendimo metu naudojami resursai (elektra, kompiuteriai), taigi naujo bloko generavimas kainuoja pakankamai brangiai.

- Sprendimo metu naudojami resursai (elektra, kompiuteriai), taigi naujo bloko generavimas kainuoja pakankamai brangiai.
- Todėl sukurtas dar vienas išradingas ir efektyvus bitkoinų tinklo elementas – kasėjai yra skatinami piniginiu prizu. Už kiekvieną parengtą ir įtrauktą į blokų grandinę bloką kasėjui išmokama fiksuota naujų bitkoinų vertė (šiuo metu ji lygi 6.25 BTC).

- Sprendimo metu naudojami resursai (elektra, kompiuteriai), taigi naujo bloko generavimas kainuoja pakankamai brangiai.
- Todėl sukurtas dar vienas išradingas ir efektyvus bitkoinų tinklo elementas – kasėjai yra skatinami piniginiu prizu. Už kiekvieną parengtą ir įtrauktą į blokų grandinę bloką kasėjui išmokama fiksuota naujų bitkoinų vertė (šiuo metu ji lygi 6.25 BTC).
- Naują parengtą bloką patikrina visi tinklo dalyviai ir jį prijungia prie "ilgiausios" turimos blokų grandinės. "Ilgiausia" grandinė yra ta, kurios generavimui reikėjo skirti daugiausia skaičiavimų (ji nebūtinai sudaryta iš didžiausio skaičiaus blokų, nors dažniausiai taip ir yra).

Skaičiavimo eksperimento rezultatai

Pasirinkome slenkstinę reikšmę $m = 5$ nulius.

Patikrinome 10^8 nonce elementų.

Skaičiavimo laikas 2.5 minutės, suradome 95 laimėtojus.

Testų skaičius iki naujo laimėtojo radimo
$c_{min} = 11741, \quad c_{max} = 5599570$, t.y. gali skirtis 50 kartų.

Pasirinkome sudėtingesnę slenkstinę reikšmę $m = 6$.

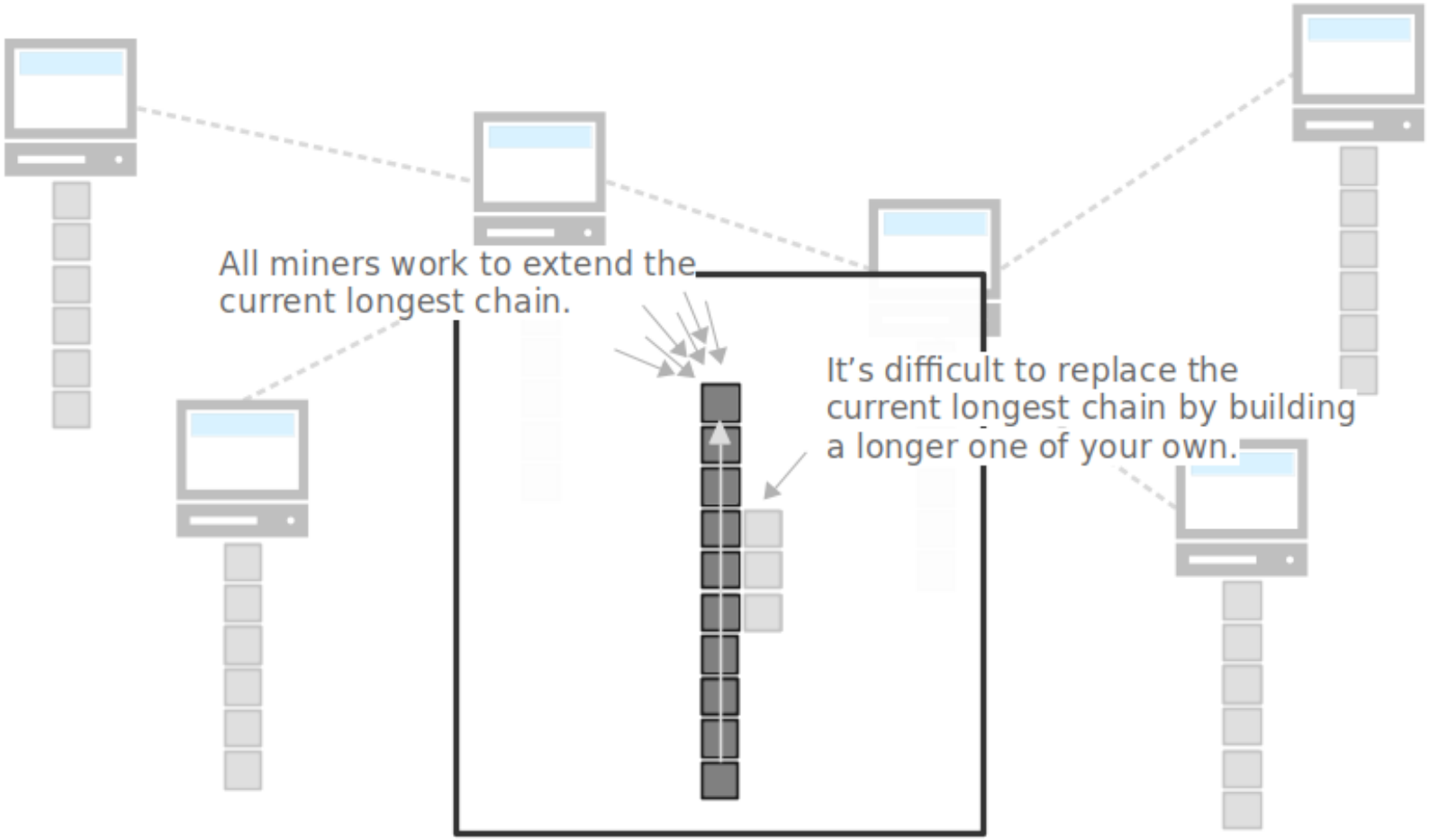
Patikrinome $2 \cdot 10^8$ nonce elementų.

Skaičiavimo laikas 5 minutės, suradome 10 laimėtojų.

Testų skaičius iki naujo laimėtojo radimo
$c_{min} = 1657862, \quad c_{max} = 67186208$, t.y. gali skirtis 40 kartų.

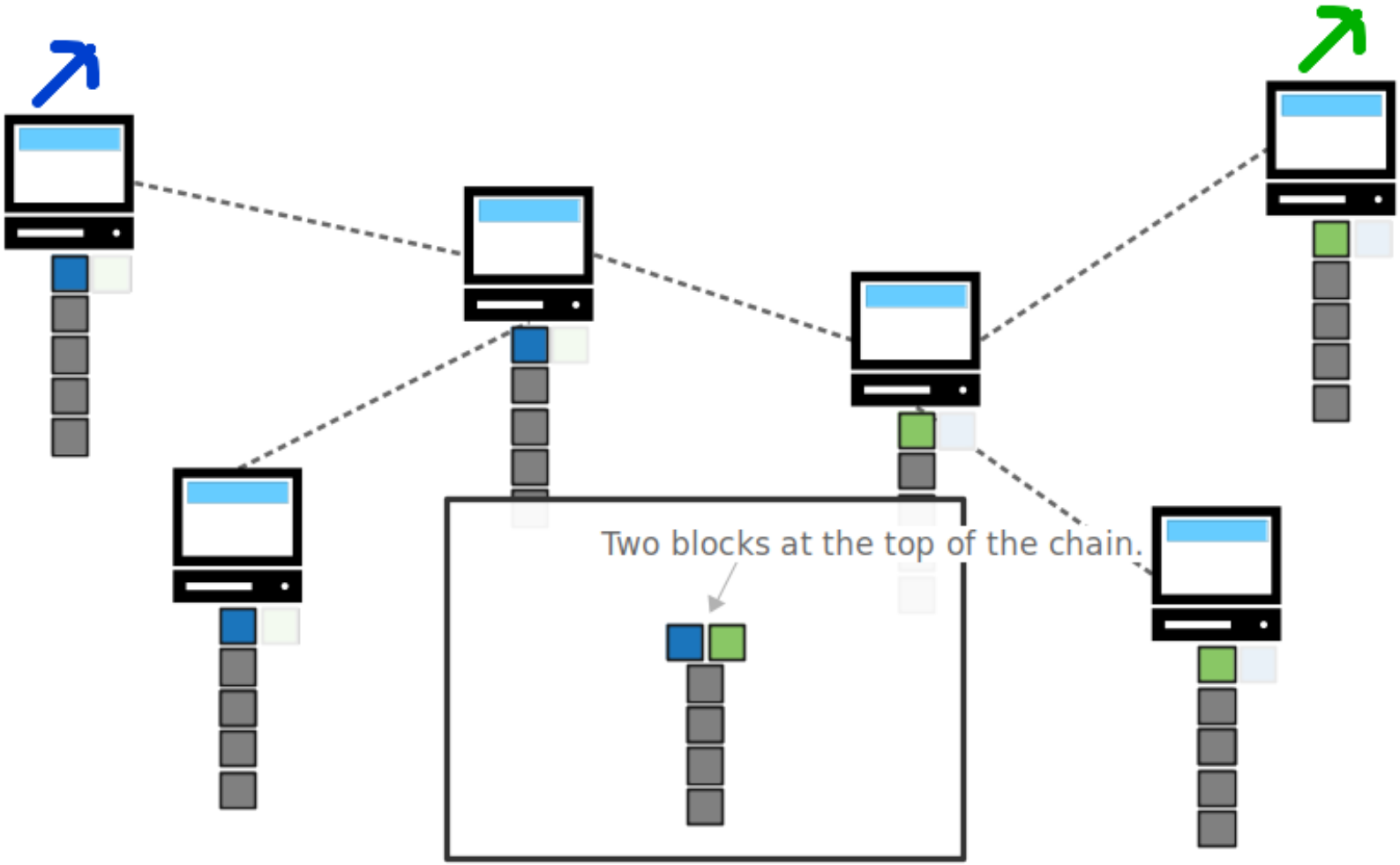
Tarp surastų laimėtojų nebuvo nei vieno, kurio santrauka prasideda 7 nuliais.

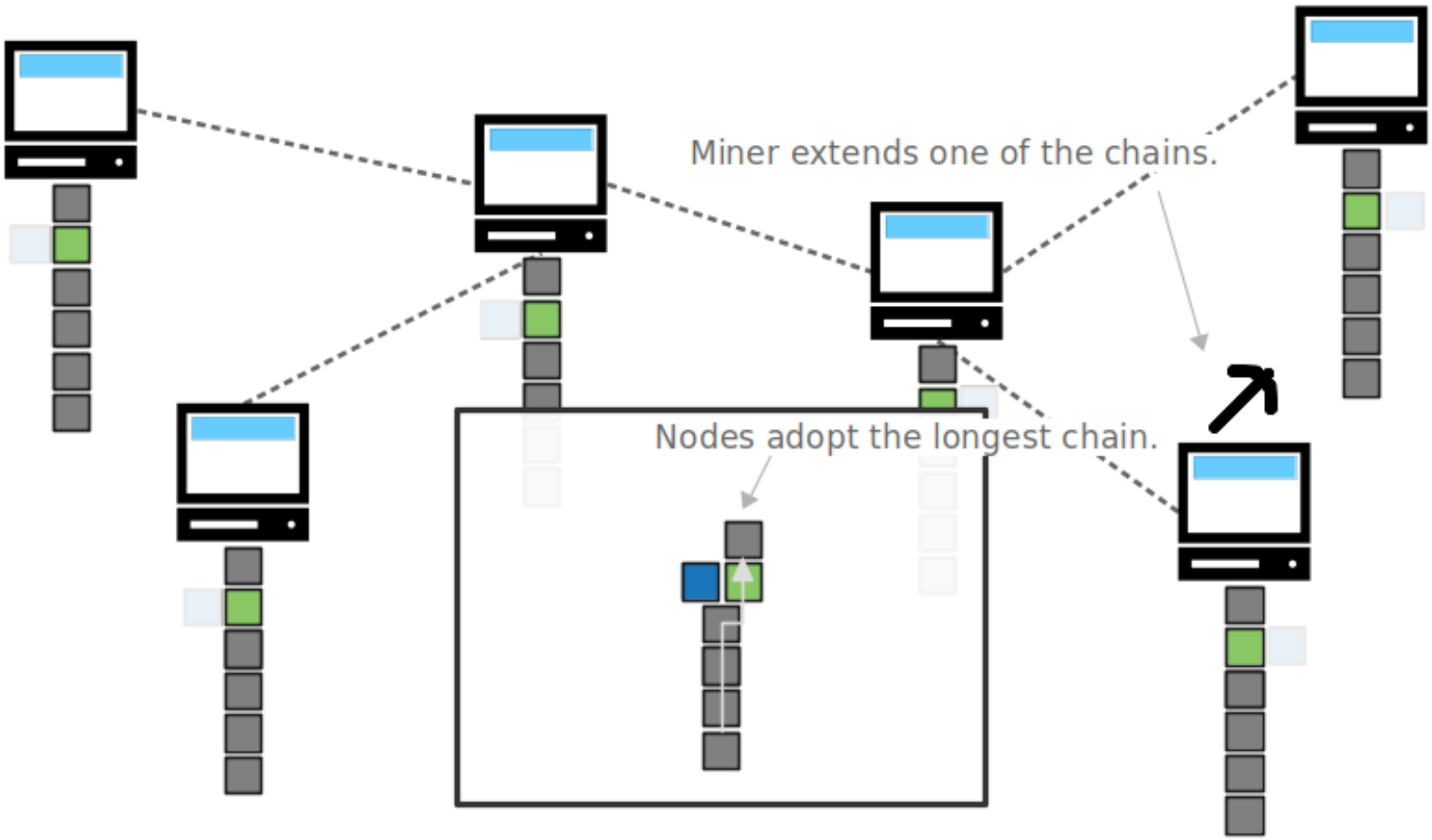
Matematinio uždavinio sudėtingumas ir "ilgiausios" blokų grandinės taisyklė patikimai apsaugo grandinę nuo bandymų pakeisti anksčiau įtrauktų blokų turinį ar juos pašalinti iš grandinės.



- Kasėjas, prieš pradėdamas generuoti naują bloką, į hash rodyklę turi įtraukti pasirinkto bloko santrauką. Remiantis protokolu racionalu pratęsti "ilgiausią" grandinę, tai padidina jo šansus lenktynėse.
  Vienoks ar kitoks pasirinkimas paveikia matematinio uždavinio sprendimą. Vėliau pakeisti pasirinktą bloką galime tik atlikę papildomus ilgus skaičiavimus ir beveik garantuotai pralaimėję konkurentams.

- Kasėjas, prieš pradėdamas generuoti naują bloką, į hash rodyklę turi įtraukti pasirinkto bloko santrauką. Remiantis protokolu racionalu pratęsti "ilgiausią" grandinę, tai padidina jo šansus lenktynėse.
  Vienoks ar kitoks pasirinkimas paveikia matematinio uždavinio sprendimą. Vėliau pakeisti pasirinktą bloką galime tik atlikę papildomus ilgus skaičiavimus ir beveik garantuotai pralaimėję konkurentams.
- Aišku, kad tinkle trumpai gali egzistuoti kelios skirtingos blokų grandinės, bet pakankamai greitai vėl pasiekiamas visų dalyvių konsensusas.


Two blocks at the top of the chain.


Miner extends one of the chains.
Nodes adopt the longest chain.

- Kasėjai yra suinteresuoti įtraukti naują bloką į ilgiausią grandinę, nes užmokestį už bloko generavimą jie gauna tik tada, kai jų blokas patvirtinamas 100 naujų blokų įtraukimu į grandinę (maždaug po 17 valandų).

- Kasėjai yra suinteresuoti įtraukti naują bloką į ilgiausią grandinę, nes užmokestį už bloko generavimą jie gauna tik tada, kai jų blokas patvirtinamas 100 naujų blokų įtraukimu į grandinę (maždaug po 17 valandų).
- Tinklo dalyviams rekomenduojama palaukti, kol atliktas mokėjimas bus patvirtintas blokų grandinėje 6 naujais blokais ir tik tada teikti prašomą paslaugą ar prekes (maždaug po 1 valandos).