

VILNIAUS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ SISTEMŲ KATEDRA

Skaitmeninės tapatybės valdymas taikant blokų grandinę

Digital Identity Management using Blockchain

Bakalauro darbas

Atliko:	Jurgis Kargaudas	(parašas)
Darbo vadovas:	lekt. Aurimas Šimkus	(parašas)
Darbo recenzentas:	partn. doc. Andrius Adamonis	(parašas)

Vilnius – 2018

Santrauka

Šiame darbe nagrinėtas blokų grandinės technologijos tinkamumas skaitmeninės tapatybės valdyme. Pristačius naudotojų poreikius identiteto valdymui internete, apžvelgtas esamų modelių gebėjimas juos išpildyti. Apibendrinus liekančias naudotojų problemas, tirta blokų grandinė ir jos charakteristikos, kurios leistų įveikti kylančius iššūkius skaitmeninės tapatybės valdyme.

Nustatyta, kad blokų grandinė gali būti taikoma skaitmeninės tapatybės valdymui internete. Pristatytas blokų grandinė ir išmaniaisias kontraktais paremtas tapatybės atributų valdymo modelis, leidžiantis naudotojams kontroliuoti savo asmens duomenis ir jų sklaidą. Siekiant įvertinti modelį, sukurtas prototipas, sudarytas iš išmaniųjų kontraktų bei naudotojo sąsajos prototipo.

Raktiniai žodžiai: skaitmeninė tapatybė, skaitmeninės tapatybės valdymas, blokų grandinė, išmanieji kontraktai.

Summary

In this paper, blockchain applicability for digital identity management was investigated. After presenting user needs for identity management, currently used identity management models were researched. Following that, blockchain and its characteristics were examined, in order to find out whether the technology is suitable to overcome present user identification challenges.

It was determined that blockchain can be used for digital identity management in the internet. A blockchain and smart contract based attribute management model was presented, which allows users to take control of their own personal data and its distribution. For evaluation purposes, a prototype of the model was created, consisting of smart contracts and user interface prototype.

Keywords: digital identity, digital identity management, blockchain, smart contracts.

TURINYS

IVADAS	4
1. SKAITMENINĖS TAPATYBĖS VALDYMO APŽVALGA	6
1.1. Tapatybės atpažinimo poreikis	6
1.2. Skaitmeninės tapatybės valdymo samprata	6
1.3. Naudotojų poreikiai skaitmeninės tapatybės valdymo sistemoms	7
1.4. Skaitmeninės tapatybės valdymo modeliai	8
1.5. Naudotojų problemų tapatybės valdyme apibendrinimas	13
2. BLOKŲ GRANDINĖS APŽVALGA	15
2.1. Nekintamumas	15
2.2. Decentralizuotumas	16
2.3. Tipai	17
2.4. Konsensuso strategijos	17
2.5. Išmanieji kontraktai	19
2.6. Pavojai ir trūkumai	21
3. BLOKŲ GRANDINĖS NAUDOJIMAS SKAITMENINĖS TAPATYBĖS VALDYME	23
3.1. Blokų grandinės savybių tinkamumas identiteto valdymui	23
3.2. Blokų grandinės projektai tapatybės valdymo srityje	24
3.3. Apibendrinimas	24
4. TAPATYBĖS ATRIBUTŲ VALDYMO MODELIS	25
4.1. Modeliui keliami reikalavimai.....	25
4.2. Modelio dalys	26
4.3. Pagrindiniai naudojimo atvejai	27
5. TAPATYBĖS ATRIBUTŲ VALDYMO MODELIO PROTOTIPAS	32
5.1. Pasirinktos technologijos	32
5.2. Išmanieji kontraktai	32
5.3. Atributų valdymo mobiliosios programėlės interaktyvus prototipas	34
6. TAPATYBĖS ATRIBUTŲ VALDYMO MODELIO VERTINIMAS	35
6.1. Privalumai	35
6.2. Trūkumai	36
6.3. Pritaikymo barjerai.....	37
REZULTATAI IR IŠVADOS	38
ŠALTINIAI	40
SĄVOKŲ APIBRĖŽIMAI	44
PRIEDAI	44
1 priedas. Atributų saugyklos išmanusis kontraktas	45
2 priedas. Paslaugų registro išmanusis kontraktas.....	47
3 priedas. Atributų valdymo mobiliosios programėlės interaktyvaus prototipo langai	48

Įvadas

Interneto paslaugos šiais laikais yra neatsiejama žmonių gyvenimo dalis. Norėdami individualizuoti turinį, sustiprinti taikomosios programos saugumą ar siekdami iš anksto išvengti kenkėjiškų tikslų turinčių asmenų ar sukurtų robotų, paslaugų tiekėjai siekia identifikuoti savo naudotojus. Interneto naudotojų skaičiui perkopus 4 milijardus [Min18], o kiekvienam naudotojui vidutiniškai turint po 7 skirtingas socialines paskyras [MM17], asmenų tapatybių valdymas, autentifikavimas ir autorizavimas tampa vis didesniu iššūkiu.

Tapatybių valdymas kelia problemų naudotojams. Bene didžiausi atsiradę keblumai: milžiniškas įsimintinų slaptažodžių kiekis bei sunkumai kontroliuojant savo asmens duomenų sklaidą skirtingose sistemose. Vidutiniškai interneto naudotojas turi 25 slaptažodžių reikalaujančias paskyras ir per dieną turi įvesti 8-is slaptažodžius [FH07]. Susidarius tokiai situacijai, per didelis įsimintinų slaptažodžių kiekis neretai priverčia naudotojus paaukoti saugumą dėl patogumo ir pradėti naudoti tą patį slaptažodį sirtingoms sistemoms [PM03; Sam99]. Naudotojas, turėdamas keletą paskyrų skirtingose sistemose, taip pat praranda dalį savo asmens duomenų kontrolės. Jam tenka pasitikėti taikomosios programos naudojamomis technologijomis ir metodais bei tikėtis, kad jie bus pakankamai saugūs ir stabilūs, o suteikti asmens duomenys nepasieks nepageidaujamų adresatų. Didėjant naudojamų paslaugų kiekiui, naudotojo skaitmeninės tapatybės duomenis turi vis daugiau taikomųjų programų ir bent vienai iš jų patyrus programišių įsilaužimą ar kitokią nesėkmę, jautrūs naudotojo duomenys gali būti paviešinti.

Taikomi skirtingi metodai skaitmeninei tapatybei internete valdyti. Šiais laikais vienas dažniausiai internete sutinkamų sprendimų yra jungtinis (angl. *federated*) tapatybės valdymas ir jo suteikiamas vienkartinis prisijungimas (angl. *single sign-on*). Šis sprendimas leidžia naudotojui pasirinkti vieną tapatybės tiekėją (angl. *identity provider*) ir patikėti jam skaitmeninės tapatybės valdymą. Tokiu būdu naudotojui pakanka turėti paskyrą tik tapatybės tiekėjo sistemoje, o krepiantis į paslaugas naudotis jau turima tapatybės tiekėjo paskyra. Tačiau šis sprendimo būdas taip pat turi aiškių trūkumų: naudotojas negali prisijungti prie paslaugų, nepalaikančių pasirinkto tapatybės tiekėjo, jo pasiekiamumas tampa vieninteliu nesėkmės tašku (angl. *single point of failure*), naudotojas taip pat praranda dalį savo asmens duomenų kontrolės. Naršantis internete asmuo yra priverstas pasitikėti tapatybės tiekėjo gebėjimu perduoti tik naudotojo leistus asmens duomenis ir tik toms trečiosioms šalims, kurias jis patvirtina. Kaip rodo *Cambridge Analytica* incidentas [Gra18], net didžiosios kompanijos, tokios kaip „Facebook“, ne visada sugeba tai užtikrinti.

Blokų grandinė (angl. *blockchain*) yra nauja alternatyva skaitmeninės tapatybės valdymui. Ši technologija veikia kaip paskirstytų įrašų platforma (angl. *distributed ledger platform*), kurioje kiekvienas įrašas yra nekintamas, o visi užfiksuoti įrašai atspindi tikslią transakcijų istoriją nuo pat grandinės sukūrimo [Baa16]. Saugant tapatybės duomenis šioje grandinėje ir pritaikius reikiamą blokų grandinės pasiekiamumo lygį įrašų rašymui ir skaitymui, asmuo visada žinotų, kokia trečioji šalis gali pasiekti kokius tapatybės duomenis. Kadangi blokų grandinė yra decentralizuota, pritaikius ją skaitmeninės tapatybės valdyme taip pat būtų galima išvengti šioje srityje dažnos vienintelio nesėkmės taško problemos.

Šiame darbe blokų grandinės tinkamumas skaitmeninės tapatybės valdymui tiriamas iš

naudotojo perspektyvos. Pateikus esminius naudotojų poreikius identiteto valdymui, apžvelgiamas dabar naudojamų sistemų gebėjimas įgyvendinti šiuos reikalavimus. Apibendrinus pagrindines neišspręstas naudotojams kylančias problemas, tiriama, kaip blokų grandinė gali padėti jas įveikti, kokie šios technologijos panaudojimo skaitmeniniame tapatybės valdyme pranašumai, trūkumai bei pritaikymo barjerai (angl. *adoption barriers*).

Darbo tikslas - įvertinti blokų grandinės tinkamumą skaitmeninės tapatybės valdymui.

Darbe keliama uždaviniai:

1. Apžvelgti skaitmeninės tapatybės valdymo sprendimus, vertinant jų gebėjimą įgyvendinti naudotojų poreikius;
2. Įvardyti naudotojams kylančias problemas skaitmeninės tapatybės valdyme;
3. Apžvelgti blokų grandinės technologiją ir jos savybes;
4. Atsižvelgus į blokų grandinės savybes ir esamą jos taikymą tapatybės srityje, įvertinti blokų grandinės gebėjimą spręsti įvardytas naudotojų problemas;
5. Pateikti blokų grandinės panaudojimo atvejį skaitmeninės tapatybės valdymui ir sukurti jo veikimą demonstruojantį prototipą;
6. Įvertinti pateiktą sprendimą apibūdinant jo privalumus, trūkumus ir galimus pritaikymo barjerus.

1. Skaitmeninės tapatybės valdymo apžvalga

Skaitmeniniame amžiuje tapatybės valdymas internete yra svarbi taikomųjų programų dalis. Šiame skyriuje apžvelgiamas asmenų identifikavimo internete poreikis, skaitmeninės tapatybės valdymo samprata, taikomi tapatybės valdymo modeliai bei pagrindinės naudotojams kylančios problemos. Skaitmeninės tapatybės, autentifikavimo, autorizavimo bei kitų darbe naudojamų terminų aiškinimai pateikiami skyriuje „Sąvokų apibrėžimai“.

1.1. Tapatybės atpažinimo poreikis

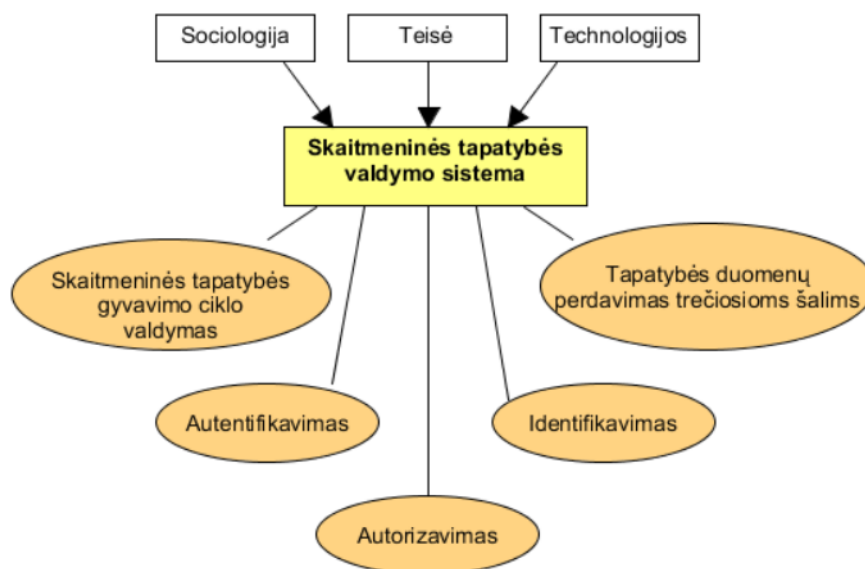
Naudotojo identifikavimas yra reikšminga interneto taikomųjų programų dalis. Paslaugų tiekėjai identifikuoja savo naudotojus norėdami [Ral14]:

- registruoti (angl. *log*) naudotojų veiklą,
- užtikrinti, kad naudotojas iš tikrųjų yra asmuo, kuris sakosi esąs,
- suteikti dalį funkcionalumo tik autorizuotiems naudotojams,
- individualizuoti tinklalapio ar taikomosios programos turinį pagal naudotojo poreikius,
- sukurti paslaugos naudotojų bendruomenę,
- išvengti galimų anoniminių naudotojų atakų.

Dėl išvardytų priežasčių naudotojų identifikavimas atlieka svarbią rolę įvairiose taikomųjų programų srityse - elektroninėje valdžioje, elektroninėje komercijoje, verslo analitikoje (angl. *business intelligence*), tyrimuose bei saugume (angl. *homeland security*) [GV09]. Kiekvienas paslaugų tiekėjas turi pasirinkti, kaip autentifikuoti, ir, jei reikia, autorizuoti naudotojus. Programos kūrėjas taip pat turi užtikrinti naudotojo suteiktų duomenų saugumą, o naudotojui tenka rūpintis skirtingų turimų paskyrų priežiūra ir savo duomenų sklaida tarp skirtingų sistemų. Minimus tapatybės atpažinimo skaitmeninėje erdvėje aspektus nagrinėja skaitmeninės tapatybės valdymo disciplina.

1.2. Skaitmeninės tapatybės valdymo samprata

Dėl nuolat vykstančios interneto ir jame esančių paslaugų plėtros tapatybių valdymo uždavinys pastaraisiais metais tapo itin svarbus [GV09]. Skaitmeninės tapatybės valdymo pagrindinis uždavinys yra kontroliuoti tapatybę ir su ja susijusius procesus, tokius kaip autentifikavimas, autorizavimas, prieigų kontrolė, tapatybės gyvavimo ciklo valdymas bei saugus tapatybės atributų perdavimas trečiosioms šalims [CY10; DP08]. Sprendžiant šį uždavinį, sukurta skirtingų skaitmeninės tapatybės valdymo sistemų. Šioms sistemoms įtaką daro kiti tapatybę nagrinėjantys mokslai (pvz. sociologija), taip pat jos gali atlikti keletą skirtingų funkcijų, susijusių su naudotojų tapatybe. 1 paveiksle apibendrintas tapatybės valdymo sistemų kontekstas bei pagrindinės atliekamos užduotys:



1 pav. Skaitmeninių tapatybių valdymo sistemų kontekstas ir užduotys [GV09]

Paveiksle matomos disciplinos turi skirtingą poveikį tapatybių valdymo sistemoms. Sociologija padeda apibrėžti tapatybę ir jos atitikmenį skaitmeninėje erdvėje, teisės mokslas nusako tapatybės duomenų naudojimo reikalavimus, o esamos technologijos formuoja sistemos įgyvendinimo niuansus. Verta pastebėti, kad tapatybės valdymo sistema gali atlikti ne visas diagramoje nurodomas funkcijas, o tik dalį iš jų.

1.3. Naudotojų poreikiai skaitmeninės tapatybės valdymo sistemoms

Skaitmeninės tapatybės valdymas yra plati sritis, kurią galima analizuoti iš skirtingų pusių: paslaugų tiekėjo, tapatybės tiekėjo ar naudotojo. Šiame darbe į skaitmeninių tapatybių valdymą žvelgiama iš naudotojo perspektyvos - kaip skaitmeninio valdymo sistemos atitinka naudotojų poreikius bei lūkesčius. Išskiriamos šios naudotojoms aktualios sistemų savybės:

- atpažinimo duomenų kiekis. Naudotojui vidutiniškai turint 25 paskyras, reikalaujančias slaptažodžių [FH07] bei naudojant nuo 2 iki 12-os el. paštų [GC07], jis tampa priverstas prisiminti vis daugiau slaptažodžių bei identifikatorių. Atsimintinų autentifikavimo duomenų kiekiui augant, naudotojai yra linkę aukoti saugumą dėl patogumo ir naudoti panašius slaptažodžius skirtingose sistemose [PM03; Sam99];
- saugumas. Suteikiant savo asmens duomenis internete naudotojai tikisi, kad jie bus patikimai saugomi ir nepasiekiami programišiams. Tapatybių valdymo sistemos turėtų būti budrios saugumo rizikoms bei viešai skelbti saugumui skirtas priemones ir atliktų saugumo analizių rezultatus, kad tiek naudotojai, tiek paslaugų tiekėjai galėtų pasitikėti tapatybių valdymo sistemomis [DD08];
- asmens duomenų kontrolė. Naudotojai nesijaučia kontroliuojantys savo asmens duomenų internete [SSH⁺11]. Dėl to naudotojai pradeda nepasitikėti taikomųjų programų kūrėjais, nes jie pilnai nežino, kokia informacija apie juos kaupiama ir kokioms sistemoms ji perduodama;

- patogumas (angl. *usability*). Naudotojams skaitmeninės tapatybės valdymas neretai yra tik pašalinis mechanizmas, reikalingas norint pasiekti paslaugą [DD08]. Dėl šios priežasties sistemos naudojimosi patogumas yra svarbus - kuo tapatybės valdymas yra labiau integruotas su asmens jau naudojamomis sistemomis, kuo mažiau jis reikalauja papildomo naudotojo įsitraukimo ir kuo suteikia geresnę naudotojo patirtį (angl. *user experience*), tuo labiau naudotojas bus linkęs pasirinkti šį identiteto valdymo sprendimą.

1.4. Skaitmeninės tapatybės valdymo modeliai

Naudojamų tapatybių valdymo sistemų architektūros bei veikimo principai yra skirtingi. S. Clauß ir M.Köhntopp savo tyrime pastebi, kad nėra vieningo standarto identiteto valdymo sistemoms [CK01]. Šiame skyriuje tiriami 3-ys dažniausiai naudojami identiteto valdymo modeliai. Tiriant kiekvieną modelį, pirmiausia apžvelgti jo bendri veikimo principai. Taip pat apžvelgtos paplitusios modelį įgalinančios technologijos (angl. *enabling technology*), nes modelio realizacijoje taikomi standartai ar protokolai gali turėti įtakos naudotojų poreikiams. Apžvelgus visus modelius, analizuotas jų atitikimas naudotojų lūkesčiams, išvardytiems 1.3 skyrelyje.

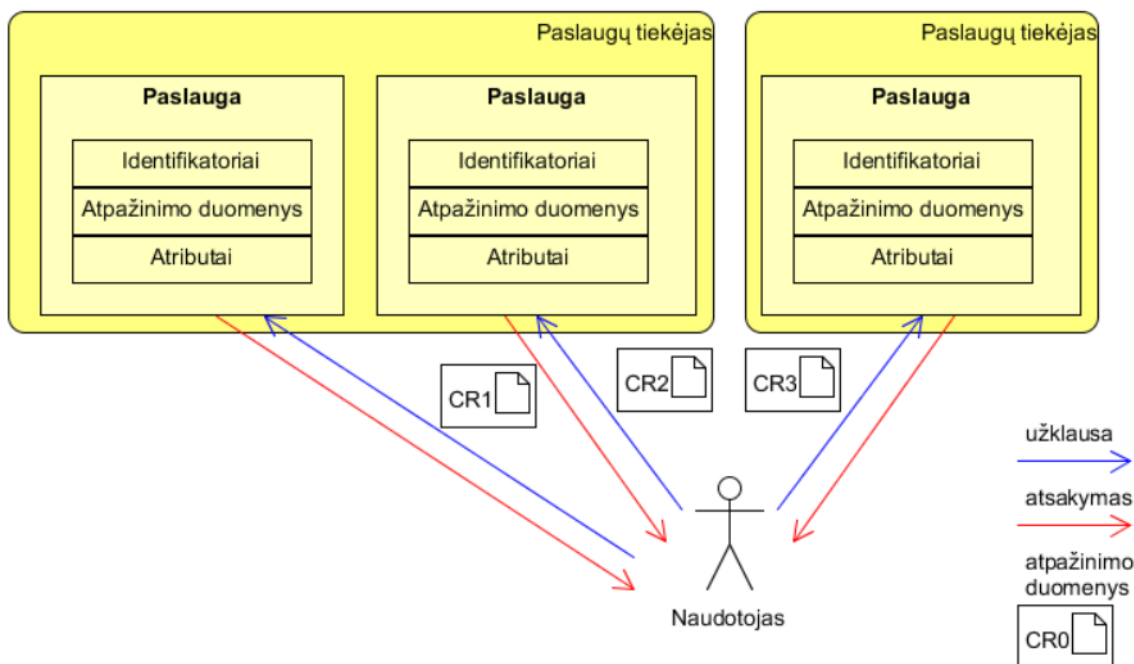
1.4.1. Izoliuotas tapatybės valdymas

Izoliuotame modelyje paslaugų tiekėjas yra ir tapatybės tiekėjas, nes visos su tapatybės valdymu susijusios operacijos yra atliekamos vieno serverio. Tapatybės duomenų saugojimas, autentifikavimas ir autorizavimas yra įgyvendinti paties paslaugų tiekėjo [CY10]. Kiekvienas naudotojas turi atskirus identifikatorius kiekvienai naudojamai paslaugai. Modelis grafiškai pavaizduotas 2-ame paveiksle.

Pagal izoliuotą modelį, naudotojas turi savo paskyrą kiekvienoje naudojamose sistemoje. Kiekvieną kartą autentifikuojant ar autorizuojant naudotoją, tai atlieka pats paslaugų tiekėjas, bendraudamas tiesiogiai su naudotoju (jo naršykle). Naudotojui prisijungus prie vieno tinklalapio ir gavus prieigos raktą, jis gali toliau naudotis šiuo tinklalapiu, tačiau prireikus pasinaudoti kita taikomąja programa, tapatybės atpažinimo veiksmai (autentifikavimas, autorizavimas) turi vėl būti atlikti naujoje sistemoje.

Kadangi šis naudotojų autentifikavimo bei autorizavimo modelis naudojamas seniausiai, yra gana nemažai jį įgyvendinusių taikomųjų programų. Apsilankius keleto įmonių interneto tinklalapiuose, pastebėta, kad Lietuvoje naują paskyrą susikurti siūlo „Tiketa“, „Bilietai.lt“, „Pigu.lt“, „Varle.lt“, pasaulyje - „Booking.com“, „Skycop“, „AirBnB“, „CodinGame“ bei kitos platformos (išvardytų įmonių puslapiai tikrinti 2018 metų balandžio 14-ą dieną). Dalis iš jų remiasi ne vien tik savo izoliuotu tapatybės valdymu, bet jau turi į savo sistemas integravę ir papildomų autentifikavimo būdų (pvz. prisijungimą per „Facebook“ ar „Google“).

Realizacijų technologiniai sprendimai dažniausiai nėra viešai prieinami. Šiame modelyje kiekvienas paslaugų tiekėjas yra ir tapatybės tiekėjas, tad nereikia apibrėžti protokolų, duomenų formatų ar kitų detalių, kurios formalizuotų bendravimą tarp pasikliaujančiosios šalies ir tapatybės tiekėjo - visa tai pats nusprendžia ir įgyvendina paslaugų tiekėjas.

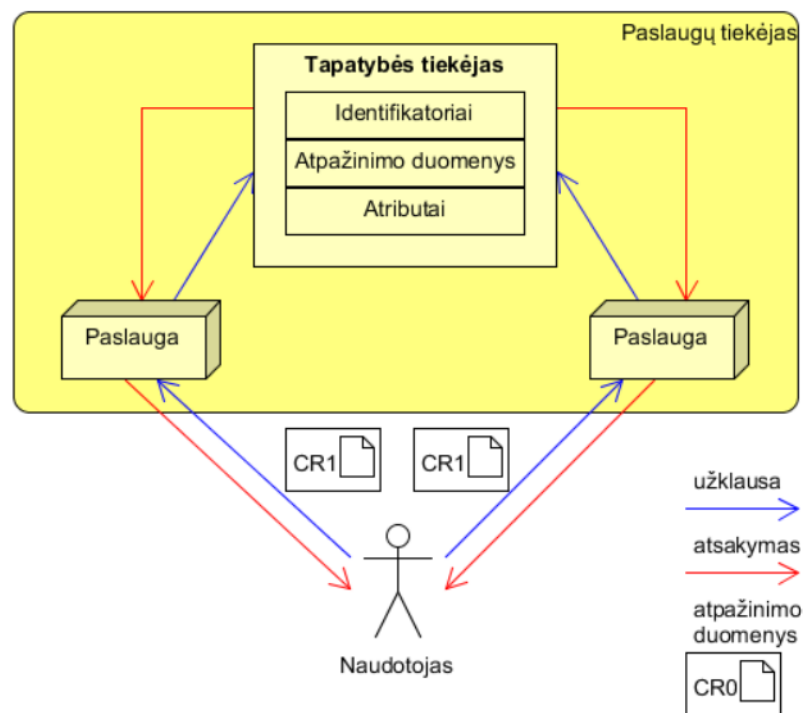


2 pav. Izoliuotas skaitmeninės tapatybės valdymas [CY10]

1.4.2. Centralizuotas tapatybių valdymas

Centralizuotame skaitmeninių tapatybių valdyme egzistuoja vienas tapatybės tiekėjas, į kurį kreipiasi visos paslaugos, esančios to paties paslaugų tiekėjo domene [JP05]. Kai paslaugų tiekėjui reikia autentifikuoti naudotoją (ar atlikti kitą tapatybės valdymo procesą), jis persiųs naudotojo pateiktus atpažinimo duomenis tapatybės tiekėjui, siekdamas pabaigti procesą [CY10]. Naudotojui šiame modelyje užtenka vienų atpažinimo duomenų, su kuriais jis gali prisijungti prie visų to paties paslaugų tiekėjo paslaugų. Modelio veikimas iliustruotas 3-iame paveiksle.

Centralizuotame modelyje paslaugų tiekėjo ir tapatybės tiekėjo funkcijos tampa atskirtos - tapatybės tiekėjas rūpinasi naudotojo identiteto valdymu, o paslaugų tiekėjas koncentruojasi į paslaugos vystymą. Tai sudaro patrauklesnes sąlygas naudotojui, tačiau taip pat sukuria vieno nesėkmės taško (angl. *single point of failure*) sistemą. Tapatybės tiekėjo sistemai tapus nepasiekiamai, naudotojai nebegali naudotis nei viena paslauga tame pačiame domene.



3 pav. Centralizuotas skaitmeninės tapatybės valdymas [CY10]

Centralizuotas modelis tinkamiausias naudoti darbuotojams įmonės ribose arba vieno paslaugų tiekėjo paslaugoms [JP05]. Pateikiami pavyzdžiai abiem šioms realizacijoms.

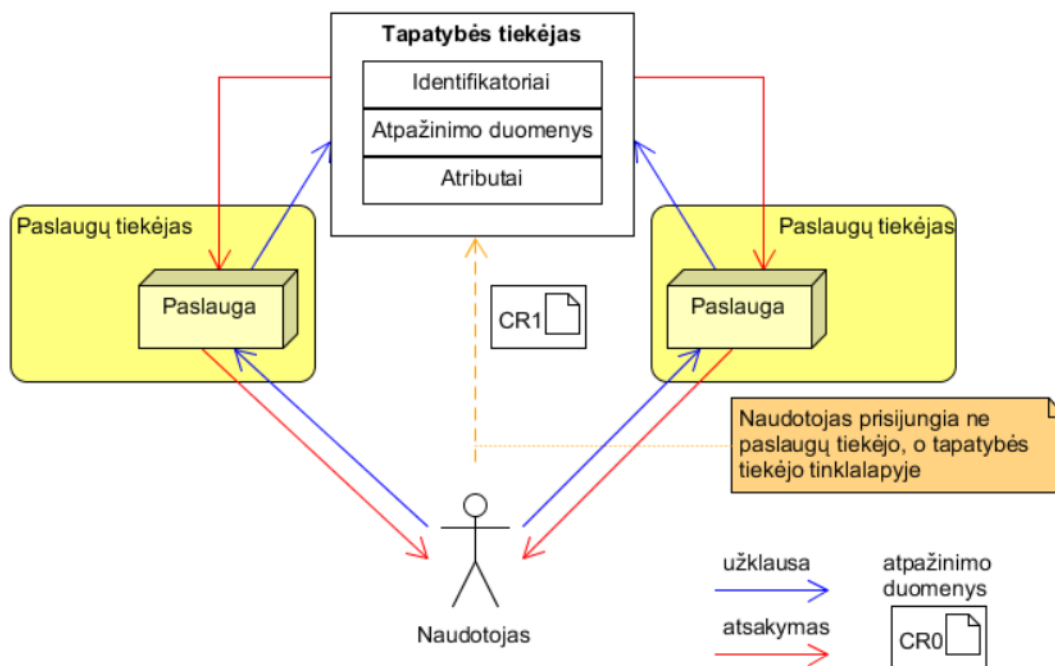
Viena iš įmonėse naudojamų realizacijų centralizuotam tapatybės valdymui - katalogų prieigos protokolas (angl. *Lightweight Directory Access Protocol*, toliau LDAP), naudojamas pasiekti ir palaikyti informaciją tinkle [Kuk11]. Šis protokolas dažniausiai sujungiamas su aktyviaja direktorija (angl. *active directory*) ir leidžia laikyti kompanijos darbuotojų tapatybės informaciją vienoje vietoje. Taikomosios programos siunčia užklausas į LDAP serverį, kuriose nurodo norimą atlikti veiksmą (pvz. naudotojo autentifikavimą ar naudotojo atributų atnaujinimą).

LDAP grįstas vienkartinis prisijungimas leidžia įmonės darbuotojams vieną kartą prisijungti prie tam tikros įmonėje naudojamos programos ir nebekartoti prisijungimo kreipiantis į kitą programą. Tačiau, tai galios tik toms programoms, kurios pasiekiamoms darbuotojams per vidinį intranetą [Kuk11]. Dėl šios priežasties LDAP grįstas centralizuotas tapatybės valdymas retai sutinkamas už įmonių intraneto ribų [Kuk11].

Centralizuotas tapatybės valdymas taip pat gali būti realizuotas ir ne įmonės ribose, jei konkretus paslaugų tiekėjas turi keletą paslaugų, skirtų naudotojams. Tokiu atveju jis gali turėti centralizuotą posistemę tapatybės valdymui, o naudotojui užtenka turėti vieną paslaugų tiekėjo paskyrą visoms įmonės paslaugoms. Tokios realizacijos pavyzdys - „Atlassian“ įmonės paslaugos. Naudotojui pakanka turėti vieną „Atlassian“ paskyrą ir jis gali naudotis skirtingais šio paslaugų tiekėjo produktais, tokiais kaip „Jira“, „Confluence“, „Bitbucket“ bei kitais. Vieną kartą prisijungus prie „Atlassian“ programos (pvz. „Jira“), naudotojas tampa autentifikuotas ir kituose „Atlassian“ tinklalapiuose.

1.4.3. Jungtinis tapatybės valdymas

Ilgą laiką centralizuoto tapatybių valdymo pakako įmonėms turėti patogų, pačios įmonės prižiūrimą tapatybės valdymo sprendimą. Tačiau augant naudojamų taikomųjų programų bei integracijų su trečiųjų šalių aplikacijomis kiekiui, reikėjo sprendimo, leidžiančio identiteto valdymo uždavinius spręsti ne tik vienos organizacijos ribose. Todėl buvo pradėtas naudoti jungtinis (angl. *federated*) tapatybių valdymas.



4 pav. Jungtinis skaitmeninės tapatybės valdymas [CY10]

Jungtinis (angl. *federated*) tapatybių valdymas yra aibė technologijų ir procesų, kurie leidžia sistemoms dalintis tapatybės informacija ir deleguoti tapatybės valdymo užduotis tarp skirtingų paslaugų tiekėjų [MR08]. Šis tapatybių valdymo modelis įgalina naudotojus turėti vienus atpažinimo duomenis, kuriuos gali naudoti skirtingų paslaugų tiekėjų tinklalapiuose. 4 paveiksle pateikiama schema, vaizduojanti šio modelio architektūrą.

Jungtiniame tapatybės valdyme tapatybės tiekėjas yra atskira sistema, su kuria turi integruotis paslaugų tiekėjas. Tapatybės duomenys bei su tapatybe susiję veiksmai yra deleguojami šiai sistemai. Naudotojas turi vieną identifikatorių, su kuriuo prisijungia tiesiogiai tapatybės tiekėjo puslapyje. Prisijungus šioje sistemoje, naudotojas tampa autentifikuotas visose paslaugose, kurios palaiko šį tapatybės tiekėją [MR08].

Kadangi jungtiniame tapatybės valdyme tapatybės tiekėjas bei paslaugų tiekėjas yra skirtingų kūrėjų sistemos, duomenų apsikeitimui tarp jų sukurti technologiniai standartai. Trys šiuo metu labiausiai paplitę protokolai: „SAML“, „OAuth“ bei „OpenID“ [Kou17]. Šių technologijų apžvalga pateikiama 1-oje lentelėje.

Kiekviena iš minimų technologijų šiandien yra gana plačiai naudojama internete - tai rodo ir didžiųjų kompanijų („Google“, „GitHub“, „Microsoft“) sprendimai pritaikyti jas savo programinėje įrangoje. Pagrindinis šių standartų skirtumas - jų panaudojimo apimtis. „SAML“ pritaikytas

visiems tapatybės valdymo veiksams, „OAuth“ skirtas naudotojui autorizuoti trečiąją šalį pasiekti jo atributus tapatybės tiekėjo platformoje, o „OpenID“ skirtas naudotojų autentifikavimui.

1 lentelė. Jungtinio tapatybės valdymo technologijos

	SAML	OAuth	OpenID
Dabartinė versija	SAML 2.0	OAuth 2.0	OpenID Connect
Paskirtis	Autentifikavimas, autorizavimas, atributų perdavimas	Autorizavimas	Autentifikavimas
Duomenų perdavimas	HTTP, SOAP	HTTP, REST	HTTP, REST
Duomenų formatas	XML	JSON, JWT	JSON, JWT
Duomenų šifravimas	Yra	Yra	Yra
Tapatybės tiekėjo suteiktų duomenų validavimas	Viešo-privataus rakto infrastruktūra	Neapibrėžta (palikta realizacijai)	Viešo-privataus rakto infrastruktūra
Naudotojo sutikimas perduoti duomenis	Nėra	Yra	Yra
Mobiliųjų programėlių palaikymas	Nėra	Yra	Yra
Naudojančios organizacijos	Salesforce, PingFederate, Oracle Access Manager	Google, Amazon, GitHub	Google, Microsoft, Ping Identity

1.4.4. Skaitmeninės tapatybės valdymo modelių palyginimas

Apžvelgus skirtingus skaitmeninės tapatybės valdymo modelius, 2 lentelėje pateikiamas jų palyginimas. Skirtingi modeliai lyginti pagal 1.3 skyrelyje apibrėžtus naudotojų poreikius.

Atsižvelgus į palyginimo rezultatus, galima teigti, kad parankiausias naudotojams yra jungtinis tapatybės valdymo modelis. Centralizuotas bei izoliuotas tapatybės valdymas verčia naudotojus kurti ir administruoti naujas paskyras nebandytose sistemose, prisiminti daugybę slapyvardžių bei slaptažodžių (ar silpninti saugumą naudojant tą patį slaptažodį) bei kartoti prisijungimo žingsnius, o tai įkyri naudotojams. Pasak kompanijos „Blue Research“ tyrimo, tinklalapiui prašant kurti naują paskyrą 54% interneto naudotojų teigia paliksiantys ar negrįšiantys į tokį puslapį, o 26% ieškos kito panašią paslaugą teikiančio tinklalapio, nereikalaujančio naujos paskyros [Res12].

2 lentelė. Skirtingų tapatybės valdymo modelių palyginimas pagal naudotojo poreikius

		Izoliuotas	Centralizuotas	Jungtinis
Atpažinimo duomenys		Kiekvienai paslaugai	Kiekvienam paslaugų tiekėjui	Kiekvienam tapatybės tiekėjui
Patogumas	Prisijungimų kiekis	Tiek, kiek paslaugų	Tiek, kiek paslaugų tiekėjų	Tiek, kiek tapatybės tiekėjų
	Naudotojo patirties vientisumas	Yra	Yra	Nėra
Saugumas	Nukreipimai (angl. redirects)	Nėra	Galimi	Yra
	Vienas nesėkmės taškas	Nėra	Paslaugų tiekėjo tapatybės valdymo modulis	Tapatybės tiekėjas
	Technologiniai standartai	Paslaugos tiekėjo nuožiūra	Paslaugų tiekėjo nuožiūra	SAML 2.0, OAuth 2.0, OpenID Connect
Kontrolė	Naudotojo patvirtinimas perduodant kitai paslaugai	-	Nėra	Galimas (OAuth 2.0, OpenID Connect)
	Duomenų suteikimas tik jų prireikus	Tai realizavus paslaugos tiekėjui	Tai realizavus paslaugų tiekėjui	Dalinis (dar nenaudotai paslaugai prašant naudotojo patvirtinimo)
	Tapatybės duomenų keitimas	Kiekvienos paslaugos tinklalapyje	Kiekvieno paslaugų tiekėjo tinklalapyje	Kiekvieno tapatybės tiekėjo tinklalapyje

1.5. Naudotojų problemų tapatybės valdyme apibendrinimas

Skaitmeninės tapatybės valdymas taikant jungtinį modelį išsprendžia nemažai problemų: sumažintas naudotojams reikalingų paskyrų kiekis, išimintinių slapyvardžių ir slaptažodžių gausa, apribotas reikiamų prisijungimų kiekis. Nepaisant to, nemažai problemų naudotojams išlieka. Pagrindinės iš jų:

- vienintelio nesėkmės taško situacija. Jungtiniame tapatybės valdyme tapatybės tiekėjas yra vienintelis nesėkmės taškas (angl. *single point of failure*). Tapatybės tiekėjui tapus nepasiekiamam, asmuo internete nebegali naudoti visų paslaugų, kurios buvo integruotos su šiuo tapatybės tiekėju.
- kontrolės trūkumas. Organizacijos renka didžiulius kiekius asmens duomenų - „Facebook“ nuo sukūrimo jau sukaupė 300 petabaitų duomenų apie naudotojus [VW14], tačiau naudotojai nėra pakankamai informuoti, kur perduodami jų duomenys. Nors naudojamos technologijos, tokios kaip „OAuth“, išreikštinai prašo naudotojų sutikimo perduodant duomenis naujai paslaugai, tai atliekama tik pradėdant naudotis tam tikra paslauga. Taip pat, *Cambri-dgeAnalytica* incidentas [Gra18] rodo, kad šio sutikimo gali neužtekti. Visa tai veda prie to, kad naudotojai jaučiasi nekontroliuojantys savo asmens duomenų internete, norėtų lengviau keisti bei trinti juos, o dalį tapatybės valdymo sistemų naudoja tik todėl, kad neturi kitos išeities [Baa16];
- pasitikėjimo stoka. Naudotojams jungtiniame tapatybės valdyme tenka pasikliauti tiek tapatybės tiekėju, tiek paslaugų tiekėju gebėjimu patikimai saugoti ir perduoti tapatybės duomenis. Norint naudotojų pasitikėjimo, sistemos turėtų būti skaidrios (angl. *transparent*) apie tai, kaip jos saugo, valdo tapatybės duomenis [Baa16]. Tačiau, kai technologijų specifi-

cijos palieka vietos nesaugiam protokolų įgyvendinimui [SB12], o paslaugų tiekėjai retai atskleidžia sistemos veikimo detales [Baa16], naudotojų pasitikėjimas senka;

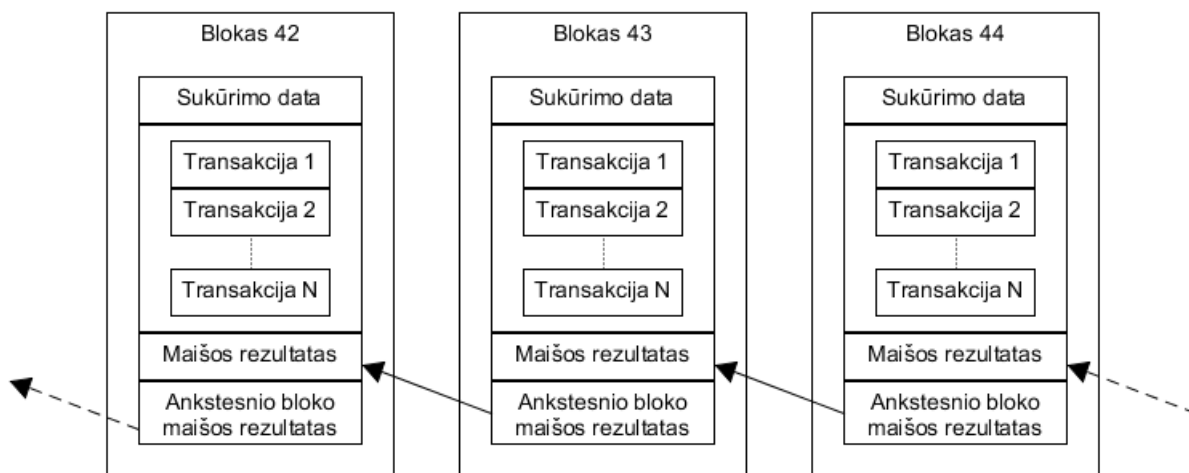
- saugumo iššūkiai. Dėl naudojamų nukreipimų jungtinis tapatybės valdymas yra itin jautrus sukčiavimo (angl. *phishing*) atakoms, tačiau paslaugų tiekėjai dažniausiai vis dar remiasi naudotojų gebėjimu atpažinti netikrus programišių tinklalapius, nors to nerekomenduoja tyrimai [SPM⁺11]. Taip pat, jungtiniame tapatybės valdyme atsiranda vienas didelės vertės taikiny (angl. *single high value target*) - tapatybės tiekėjas. Įsilaužus į jo sistemą, naudotojų atpažinimo duomenys gali būti pavogti ir panaudoti daugybėje skirtingų paslaugų tiekėjų sistemų.

Pateikti jungtinio tapatybės valdymo trūkumai leidžia teigti, kad tapatybės valdymo sritis vis dar yra tobulintina naudotojų atžvilgiu. Asmens duomenų saugumui taikomųjų programų kūrėjų neretai neskiria pakankamai dėmesio sistemos kūrimo pradžioje (angl. *privacy by design*). Naudotojams trūksta didesnės tapatybės duomenų kontrolės, o dėl galimų saugumo iššūkių, vieno nesėkmės taško situacijos ir neatskleidžiamų sistemų įgyvendinimo detalių, pasitikėti paslaugų bei tapatybės tiekėjais yra sudėtinga.

Toliau darbe apibūdinama blokų grandinės technologija. Apžvelgus jos savybes, tiriamas jų potencialas spręsti įvardytas problemas skaitmeninės tapatybės valdyme: vieno nesėkmės taško situaciją bei kontrolės, skaidrumo ir pasitikėjimo trūkumą.

2. Blokų grandinės apžvalga

Blokų grandinė - tai vieno su kitu susijusių blokų grandinė, kurios blokuose saugomi nekeičiami įrašai [Nak08]. Šią technologiją galima apibūdinti kaip daugybę paskirstytų nekintamų skaitmeninių įrašų (angl. *immutable distributed ledger*), tarpusavyje susietų taikant kriptografiją (blokų grandinės pavyzdys pateikiamas 5 paveiksle). Technologija geriausiai žinoma dėl jos panaudojimo „Bitcoin“ kriptovaliutoje. Šiame skyriuje apžvelgiami pagrindiniai blokų grandinės techniniai aspektai, savybės bei galimi skirtingi variantai.



5 pav. Supaprastintas blokų grandinės modelis

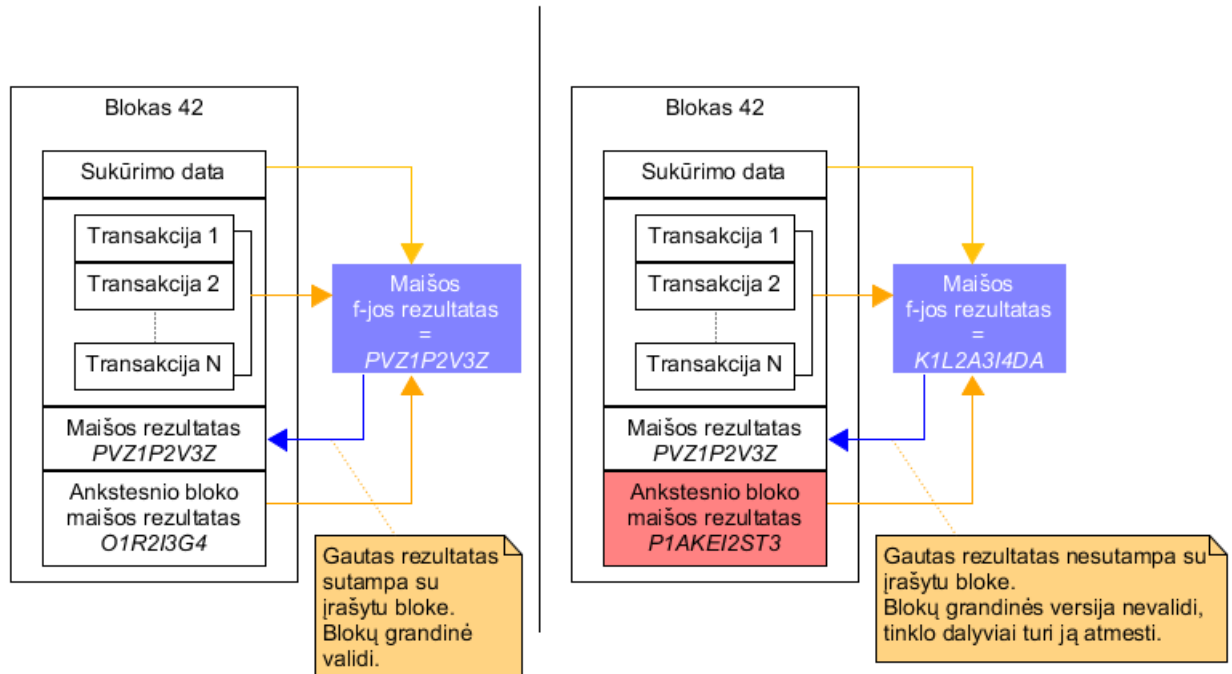
2.1. Nekintamumas

Blokų grandinėje kiekvienas blokas yra sudarytas iš šių dalių:

- transakcijų. Kiekviena transakcija yra duomenys, kuriuos norima saugoti blokų grandinėje. Šie duomenys gali būti bet kokia vertinga informacija: pervesti pinigai, programinis kodas, skaitmeninės tapatybės atributai ar kt. Kiekviena transakcija yra pasirašoma kūrėjo privačiu raktu. Vienas blokas gali turėti vieną arba daugiau transakcijų;
- bloko kriptografinės maišos funkcijos rezultato (angl. *hash*);
- ankstesnio (tėvinio) bloko kriptografinės maišos funkcijos rezultato;
- bloko sukūrimo laiko. Blokai grandinėje saugomi chronologiškai;
- kitų metaduomenų (pvz. bloko eilės numerio, blokų grandinės versijos, *nonce* darbo įrodymui).

Kiekvieno bloko maišos funkcijos rezultatas priklauso nuo jo transakcijų, prieš tai buvusio bloko maišos rezultato ir bloko metaduomenų. Jeigu betkurio bloko duomenys būtų pakeisti, tuomet maišos funkcija sugeneruotų kitokį maišos rezultatą ir būtų lengva patikrinti, kad naujai perskaičiuotas maišos rezultatas nesutampa su bloke esančiu rezultatu. Taip pat, kadangi kiekvienas blokas priklauso nuo prieš tai buvusio bloko, net ir pakeitus vieną iš pirmųjų blokų, pakeitimas

būtų pastebimas pridendant naujus blokus ir būtų galima suprasti, kad turima blokų grandinės versija yra nevalidi (žr. 6 pav.). Tokiu būdu kiekvienas blokų grandinės blokas patvirtina prieš tai buvusio bloko integralumą, taip pasiekiant blokų grandinės nekintamumą (angl. *immutability*), nes perrašyti įrašus blokuose nepastebėtam labai sunku [Nak08].



6 pav. Bloko grandinėje validavimas

2.2. Decentralizuotumas

Blokų grandinės sistema yra decentralizuota - nėra vieno centrinio serverio, kuris vienas turėtų visą blokų grandinę. Sistemą sudaro daugybė blokų grandinės mazgų (angl. *node*), kurie turi visą blokų grandinės kopiją. Šie mazgai yra atsakingi už naujų transakcijų validavimą, blokų su transakcijomis kūrimą, sukurtų blokų priėmimą į blokų grandinę ir pranešimus kitiems mazgams apie naują į grandinę priimtą bloką [Ant14]. Kiekvienas mazgas yra susietas su keletu kitu mazgų. Mazgas, kuris nori pridėti naują bloką (vadinamas *kasėju*), praneša apie jį kitiems mazgams, jie savo ruožtu žinią perduoda kitiems mazgams ir taip ilgainiui kiekvienas mazgas tinkle turi naujausią blokų grandinės versiją.

Kadangi nėra centrinės institucijos, kuri nuspręstų, ar siūlomas blokas yra tinkamas priimti į grandinę, sprendimą bendrai turi priimti visi tinklo dalyviai. Egzistuoja skirtingos taisyklės, vadinamos konsensuso strategijomis (plačiau apie juos 2.4 skyrelyje), kuriomis remdamiesi tinklo mazgai nusprendžia, ar pasiūlytas blokas yra validus. Šios taisyklės apibrėžia, kaip tinklo dalyviai turi įrodyti bloko validumą jį siūlydami į grandinę bei kaip patikrinti kito dalyvio pasiūlyto bloko validumą.

2.3. Tipai

Priklausomai nuo tinklo dalyviams suteikiamų blokų grandinės skaitymo ir rašymo teisių, išskiriami trys pagrindiniai blokų grandinės tipai: vieša, konsorciumo bei privati. Tipų skirtumai pateikiami 3 lentelėje.

3 lentelė. Viešos, konsorciumo ir privačios blokų grandinės palyginimas [ZXD⁺17]

	Vieša	Konsorciumo	Privati
Konsensuso nustatymas	Visi kasėjai	Išrinkti tinklo dalyviai	Viena organizacija
Skaitymo teisės	Viešos	Gali būti viešos ar apribotos	Gali būti viešos ar apribotos
Centralizuotumas	Nėra	Dalinis	Yra
Efektyvumas	Mažas	Didelis	Didelis

Kadangi vieša blokų grandinė yra atvira visam pasauliui, visiems matomos ir joje išsaugotos transakcijos. Tai sudaro puikias salygas įrašų auditui, tačiau sumažina naudotojų privatumą. Siekiant išlaikyti tam tikrą privatumo lygį, viešojoje grandinėje matomi tik transakcijas atlikusių asmenų vieši raktai [Nak08]. Viešų blokų grandinių pavyzdžiai: „Bitcoin“, „Ethereum“ kriptovaliutų blokų grandinės.

Privačios bei konsorciumo blokų grandinės yra tik dalinai decentralizuotos - jose blokų validavimą ir priėmimą į grandinę atlieka vienas ar dalis tinklo dalyvių. Šios grandinės privalumai: visi validuotojai yra žinomi, grandinės efektyvesnės dėl greičiau priimamų blokų, apribotos blokų skaitymo teisės suteikia didesnę privatumo lygį, o iškilus poreikiui, tinklo dalyviai gali pakeisti ar atšaukti įvykusias transakcijas [But15a]. Konsorciumo ir privačios blokų grandinės labiau tinkamos įmonių vidiniam (ar jungtiniam, pvz. tarp kelių finansinių institucijų) naudojimui. Blokų grandinių karkasų sprendimus įmonėms siūlo „IBM“, „Microsoft“, „Amazon“ [ZXD⁺17].

2.4. Konsensuso strategijos

Kadangi blokų grandinės sistema yra decentralizuota, nėra centrinės institucijos, kuri nuspręstų, ar naujai siūlomas pridėti į grandinę blokas yra validus (be transakcijų su falsifikuotais duomenimis). Todėl blokų grandinės tinkle taikoma konsensuso strategija, pagal kurią nusprendžiama, ar pridėti naują bloką į grandinę. Apžvelgiamos trys dažnai naudojamos strategijos: darbo, įtakos bei autoriteto įrodymo.

2.4.1. Darbo įrodymo strategija

Darbo įrodymo konsensuso strategija remiasi principu, kad daug pastangų ir resursų į bloko validumo įrodymą įdėjęs tinklo dalyvis nebus linkęs sukčiauti. Šioje strategijoje tinklo dalyvis, norėdamas pridėti bloką į blokų grandinę, turi išspręsti laikui ir resursams imlų matematinį uždavinį (užsiima *bloko kasimu*). Pirmas uždavinio reikšmę radęs tinklo dalyvis praneša apie ją kitiems,

kurie turi patvirtinti, ar ši reikšmė teisinga. Jei tai patvirtinta, tinklo dalyviai patikrina, ar naujojo bloko transakcijos yra validžios. Jeigu jos validžios, blokas pridamas į grandinę [ZXD⁺17].

Darbo įrodymo matematinis uždavinys dažniausiai būna paremtas kriptografinė maišos funkcija, kurios rezultatai lengvą validuoti, tačiau duomenis, sugeneravusius šį rezultatą, sunku surasti. Uždavinio tikslas - surasti šiuos duomenis. Tinklo dalyviai eikvoja didžiulius kiekius elektros energijos ir laiko, nes radimas būna paremtas duomenų perrinkimu (angl. *brute force*). Dėl šios priežasties rezultato ieškantiems *kasėjams* neretai būna įvesta paskatinimo sistema, kuri teisingą reikšmę radusį *kasėją* apdovanoja piniginiu atlygiu [Nak08].

Kadangi blokų grandinės tinklas yra decentralizuotas, įmanoma situacija, kad labai panašiu metu į grandinę skirtingų mazgų pridėti du validūs blokai. Taip dalis tinklo dalyvių gaus vieną mazgą, o dalis - kitą, o abu jie bus susieti su tuo pačiu prieš tai buvusiu bloku. Tokiu atveju, taikoma ilgiausios grandinės taisyklė. Mazgai dirba prie pirmiau gauto bloko, tačiau išsaugo kitą gautą bloką kaip šaką. Po to, kai bus gautas dar vienas blokas, jis bus susietas tik su viena iš šakų - taip ši šaka taps ilgesnė. Tuomet ilgesnė šaka paskelbiama aktyviąja grandine, visi su trumpesniąja šaka dirbę mazgai turi pereiti prie aktyviosios grandinės, o atmesto bloko (vadinamo *bloku-našlaičiu*) transakcijos grąžinamos į bendrą transakcijų sancaupą (angl. *transaction pool*) [Nak08]. Realioose blokų grandinės taikymuose, dažnai laukiama keleto iš eilės einančių naujų blokų, kol *blokas-našlaitis* yra atmetamas. Pavyzdžiui, „Bitcoin“ blokų grandinėje tik sulaukus apytiksliai 6 blokų iš eilės *blokas-našlaitis* gali būti atmetas [ZXD⁺17].

Pagrindinis šios konsensuso strategijos privalumas yra tas, kad dideli kasimo kaštai gali atgrasyti programišius nuo potencialių atakų. Tačiau, taip veltui išiekuojama daugybė elektros energijos - skaičiuojama, kad kasimas „Bitcoin“ ir „Ethereum“ blokų grandinėms kartu sudėjus per dieną sueikvoja elektros energijos, kurios vertė yra apie 1 milijoną dolerių [Eth15a]. Taip pat, dėl ilgo uždavinio sprendimo laiko vieno bloko priėmimas į grandinę gali užtrukti - Bitcoin blokų grandinėje tai užima apie 10 minučių [ZXD⁺17].

2.4.2. Turto įrodymo strategija

Turto įrodymo konsensuso strategija remiasi principu, kad daug blokų grandinės turto turintis kasėjas bus sąžiningas, nes išaiškinus jo nesąžiningumą jis rizikuoja prarasti savo turimą turtą [Baa16]. Šis algoritmas patiki sprendimą priimti tiems tinklo dalyviams, kurie įrodo kad turi daugiausia turto (pvz. blokų grandinės kriptovaliutos). Remiantis tik šia savybe, tokia strategija gali pasirodyti kaip ne itin sąžininga, nes turtingiausias tinklo dalyvis gali būti vienvaldžiu sprendimų priėmėju. Dėl to blokų grandinės tinklai neretai taiko patobulintus šios strategijos variantus: „Peercoin“ papildomai vertina turto amžių, „Blackcoin“ kitą patvirtintoją paskiria pagal atsitiktinę funkciją, kuri atsižvelgia ir į turimą turtą [ZXD⁺17].

Ši strategija leidžia nebeeikvoti didžiulių elektros kiekių, skirtingai nei darbo įrodymo strategija [Eth15a]. Algoritmo efektyvumas taip pat sutaupo laiko ir blokai būna greičiau patvirtinami ir pridami į grandinę. Tačiau, dėl praktiškai nulinių bloko *kasimo* sąnaudų, galimos dažnesnės tinklo atakos [ZXD⁺17].

Pagrindinės atakos turto įrodymo konsensusą taikančioms blokų grandinėms: *nothing at sta-*

ke bei *long-range* atakos. *nothing at stake* ataka apibūdina situaciją, kai tinklo dalyviai neeikvodami išteklių gali balsuoti už skirtingas blokų grandinės versijas vienu metu. Taip gali būti patvirtintos nevalidžios, tam tikriems tinklo dalyviams palankios transakcijos bei mažėja blokų priėmimo greitis. *Long-range* atakos metu tinklo dalyvis, grandinės sukūrimo pradžioje turėjęs nemažą dalį turto, gali kurti alternatyvią grandinės versiją. Kadangi toje versijoje šis dalyvis iš tiesų buvo turtingas, o naujų blokų kūrimo sąnaudos yra nedidelės, pridėjus pakankamai blokų į šią alternatyvią grandinę, ši gali tapti pagrindine grandinės versija [LAB⁺17].

2.4.3. Autoriteto įrodymo strategija

Autoriteto įrodymo strategija remiasi keleto tinklo dalyvių, kuriems suteikta teisė validuoti naujus blokus, priimamais sprendimais. Ši strategija nebėra tinkama visiškai decentralizuotai blokų grandinei, kurioje būtinas pilnas pasitikėjimo padalinimas [Hos17]. Tačiau ši strategija tinkama privačioms ar konsorciumo blokų grandinėms.

Šis konsensuso mechanizmas remiasi iš anksto išrinktais tinklo dalyviais, kurie bus atsakingi už blokų validavimą. Kiekvieną kartą pridėdant naują bloką į grandinę, vienas iš išrinktų validuotojų patvirtins arba atmes pasiūlytą bloką. Siekiant sumažinti galimą kenksmingų patvirtintųjų žalą, įvedamos taisyklės, neleidžiančios tam pačiam validuotojui patvirtinti keleto blokų iš eilės [Hos17].

Autoriteto įrodymo strategijoje validuotojams svarbu išlaikyti gerą reputaciją - susigadinus ją, validuotojas gali būti pašalintas iš tinklo. Šis konsensuso mechanizmas leidžia greitai ir su itin mažais ištekliais pridėti blokus, tačiau nėra tinkamas pilnai decentralizuotoms blokų grandinėms. Šią strategiją taiko „Parity“ blokų grandinė [Hos17].

2.5. Išmanieji kontraktai

Išmanusis kontraktas (angl. *smart contract*) - tai kompiuterizuotas transakcijos protokolas, kuris išpildo kontrakto sąlygas, jei patenkinami numatyti kriterijai [Sza97]. Išmanųjį kontraktą galima apibūdinti kaip tam tikras sąlygas (išreikštas kodu), kurios, patenkinus reikalavimus, bus įvykdytos automatiškai, be trečiosios šalies priežiūros.

Idėja, pristatyta dar prieš 2000-uosius, šiais laikais yra įgyvendinama pasitelkiant blokų grandinę. Išmanusis kontraktas į blokų grandinę yra patalpinamas kaip transakcija. Tuomet, dėl blokų grandinės viešumo, kodo logika būna atskleista ir kiekvienas norintis gali įsitikinti, ar kontraktas veiks tinkamai. Taip pat, kadangi pats išmanusis kontraktas yra blokų grandinės transakcijoje, jis nebegali būti keičiamas. Tai padidina naudotojų pasitikėjimą, nes jokia centrinė institucija negali pakeisti kontrakto sąlygų. Tačiau, jei kode palikta defektų, jų nebebus galima ištaisyti.

Blokų grandinėje esančių išmaniųjų kontraktų kodas yra vykdomas automatiškai tinkle esančių kasėjų [ZXD⁺17]. Taip nebelieka vienintelio nesekmės taško situacijos, kai kodą vykdytų vienas centrinis serveris - išmaniojo kontrakto kodas būtų nebevykdomas tik tada, jei visi tinklo mazgai išeitų iš tinklo. Už tai, kad tinklo dalyviai naudoja savo kompiuterių resursus išmaniųjų kontraktų kodui vykdyti, jiems dažniausiai suteikiamas piniginis paskatinimas.

Išmaniųjų kontraktų veikimo detalės priklauso nuo blokų grandinės, kurioje jie bus vykdomi. Bene žinomiausia išmaniųjų kontraktų kūrimui pritaikyta platforma - „Ethereum“. 2.5.1 skyrelyje apžvelgiamos pagrindinės išmaniųjų kontraktų veikimo sąlygos.

2.5.1. „Ethereum“ išmanieji kontraktai

2015-aisias pradėjusi veikti „Ethereum“ platforma pristatė blokų grandinę, kuri pritaikyta kurti būseną galinčius keisti išmaniuosius kontraktus su išbaigta (angl. *turing complete*) programavimo kalba [Eth15a]. „Ethereum“ kontraktai vykdomi tinklo dalyvių, „Ethereum“ virtualiosios mašinos pagalba. „Ethereum“ virtualioji mašina gali būti suprantama kaip didelis decentralizuotas kompiuteris, saugantis milijonus objektų, vadinamų paskyromis, kurie gali turėti savo duomenis, vykdyti kodą bei apsikeisti informacija tarpusavyje naudojant transakcijas arba žinutes [Eth15a].

„Ethereum“ blokų grandinėje esančias transakcijas galima išskaidyti į 3 tipus [Eth15a]:

1. kriptovaliutos pervedimo. Skirta iš vienos paskyros pervesti nurodytą kiekį eterio į kitą paskyrą;
2. kontrakto sukūrimo. Skirta sukurti naują išmaniojo kontrakto paskyrą;
3. kontrakto būsenos keitimo. Skirta iškviesti išmaniojo kontrakto funkciją, kuri keičia jo būseną.

„Ethereum“ tinkle paskyros identifikuojamos pagal unikalų adresą. Egzistuoja dviejų tipų paskyros [Eth15a]:

1. išorinės paskyros (angl. *externally owned accounts*). Jos savininkų valdomos privačiais raktais ir turi eterio balansą. Išorinės paskyros jų savininkams leidžia kurti ir pasirašyti transakcijas;
2. kontraktų paskyros (angl. *contract accounts*). Šios paskyros be balanso turi kodą bei būseną, kuri gali keistis, jei įvykdomos kode aprašytos sąlygos. Kontraktų paskyros yra valdomos kontrakto kodo. Kontraktų paskyros negali tiesiogiai sukurti transakcijos, tačiau iškvietus kontrakto funkciją, jos kodas gali sukurti žinutę, turinčią transakciją. Šios žinutės leidžia kontraktams naudotis kitais kontraktais (pvz. iškviesti jų funkcijas).

Skatinant tinklo dalyvius vykdyti kontraktų kodą, jiems už šį darbą skiriama piniginė premija - eterio kriptovaliuta. Kiek eterio bus skiriama, priklauso nuo vykdomo kodo sudėtingumo ir jam reikalingų resursų. Dėl to kiekviena kodo operacija „Ethereum“ platformoje yra įvertinama kuro (angl. *gas*) kiekiu, kuris nurodo sąlyginę kainą. Kuro sistema padeda apsaugoti nuo begalinių ciklų vykdymų - jei vykdant funkciją baigiasi kuras, vykdymas nutraukiamas, o kuras kvietėjui nėra grąžinamas [Eth15a].

Skiriamos dviejų tipų funkcijos: rašymo bei skaitymo. Skaitymo funkcijų kvietimas yra nemokamas - jos tik grąžina esamus kontrakto duomenis. Rašymo funkcijos yra mokamos, nes jos keičia kontrakto būseną. Jų vykdymo metu turi būti sukurta transakcija, kurią patvirtins „Ethereum“ blokų grandinės dalyviai. Kuo didesnis duomenų kiekis bus išsaugotas būsenoje, tuo brangesnė bus operacija.

Funkcijos kvietimą apmoka kvietėjas. Dėl šios priežasties kvietėjas savo paskyroje turi turėti eterio, iš kurio galės padengti kviečiamos funkcijos išlaidas. Norint neversti kvietėjo apmokėti, kontrakto kodas kviečiamos funkcijos pabaigoje gali į kvietėjo paskyrą pervesti jo išėikvotą eterį. Tolimesnėse „Ethereum“ versijose svarstoma įdiegti funkcionalumą, kuris standartizuotą būdą, leisiantį kontraktams patiems apmokėti iškviestų funkcijų išlaidas [But15b].

Bendravimui su vartotojui skirtomis klientinėmis programomis, komunikuojančiomis su blokų grandine (neretai vadinamoms *dapp*), „Ethereum“ platformoje dažniausiai naudojami įvykiai (angl. *events*). Išmaniajame kontrakte galima apibrėžti įvykį ir jo grąžinamus duomenis. Į kontrakto funkcijas tuomet pridedamas kodas, kuris paskelbs įvykį su pasirinktais duomenimis. Visos klientinės programos, besiklausančios šio įvykio, bus informuotos ir gaus įvykyje perduotus duomenis. Taip klientinė programa gali reaguoti į išmaniajame kontrakte įvykusius pokyčius. Įvykiai „Ethereum“ blokų grandinėje saugomi kaip registrai (angl. *logs*), o paskelbti įvykius kainuoja gerokai mažiau kuro, nei keisti kontrakto būseną. Dėl šios priežasties įvykius galima naudoti kaip pigesnę alternatyvą duomenims blokų grandinėje saugoti. Tačiau, įvykiuose paskelbti duomenys nėra prieinami iš išmaniojo kontrakto kodo [Eth15a].

2.6. Pavojai ir trūkumai

Blokų grandinės technologija sukuria sąlygas decentralizuotai, nesuteikiant pasitikėjimo vienam ar keliems dalyviams, laikyti nekeičiamus duomenis. Tai atveria įvairių galimybių finansų, daiktų interneto, reputacijos sistemų ar saugumo srityse [ZXD⁺17], tačiau ši technologija turi ir trūkumų, kurių galimą poveikį būtina įvertinti prieš taikant šią technologiją konkrečioje sferoje. Pagrindinės grėsmės ir trūkumai aptariami šiame skyriuje.

2.6.1. Daugumos ataka

Viešose blokų grandinėse dauguma (>50%) mazgų tinkle turi patvirtinti bloką, kad jis būtų priimtas į grandinę. Potencialus įsilaužėlis gali pateikti falsifikuotą blokų grandinės bloką (pvz. su netikromis transakcijomis), tačiau kol jis neturi daugumos skaičiavimo galios tinkle, šis blokas bus atmestas likusių dalyvių mazge (ir taps *bloku-našlaičiu* taikant ilgiausios grandinės taisyklę). Tačiau, jeigu įsilaužėlis (ar keletas jų) turi daugumą skaičiavimo galios, jis gali dirbti su falsifikuota blokų grandinės versija greičiau negu likę dalyviai tinkle ir taip ilgiausia grandine, prie kurios pereis visi dalyviai, taps jo sukurta grandinė su falsifikuotais blokais [ZXD⁺17]. Ši ataka nebuvo įgyvendinta prieš žinomiausias „Bitcoin“ bei „Ethereum“ blokų grandines, tačiau buvo įvykdyta prieš „Verge“ blokų grandinę [Sed18].

2.6.2. Plečiamumas

Blokų grandinės plečiamumas matuojamas pagal du kriterijus: transakcijų pralaidumą ir saugojimo reikalavimus mazgams. Transakcijų pralaidumas, kuris priklauso nuo to, kaip greitai nauji blokai yra pridedami į blokų grandinę, susijęs su taikoma konsensuso strategija. Kuo taikoma strategija leidžia greičiau priimti naują bloką, tuo greičiau transakcijos bus patvirtintos. „Bitcoin“

kripto valiutos blokų grandinėje, taikančioje darbo įrodymo konsensumą, apdorojoma apie 7 transakcijas per sekundę [ZXD⁺17], kai „Tendermint“ blokų grandinė, taikanti atsparumo klaidoms konsensumą, teigia galinti apdoroti tūkstančius transakcijų per sekundę [Ten17]. Dėl darbo įrodymo strategijos neefektyvumo blokų grandinės neretai tampa priverstos iškeisti ją į efektyvesnį konsensuso būdą - „Ethereum“ blokų grandinė ketina pereiti prie turto įrodymu grįsto konsensuso [Eth15a].

Kita priežastis, dėl ko transakcijos tvirtinamos gana lėtai - blokai turi dydžio apribojimus. Dėl šių apribojimų, tik dalis susikaupusių transakcijų gali būti priimtose į naują bloką, o likusios turi laukti, kol pateks į kitą bloką. Tam spręsti pasitelktos šalutinės blokų grandinės. Jos dalį bloko duomenų iškelia į šalutinę grandinę, taip palikdamos daugiau vietos pagrindinės grandinės bloke. Tokį sprendimą priėmė „Bitcoin“ blokų grandinė, į tinklą pristatydama „SegWit“ protokolą, kuris iškelia skaitmeninių parašų duomenis į atskirą grandinę [Bit16].

Visos blokų grandinės dydis taip pat gali sukelti plečiamumo problemų. Šiuo metu Bitcoin blokų grandinė užima per 100 gigabaitų [ZXD⁺17]. Siekiant sumažinti blokų grandinės (kurią turi kiekvienas mazgas tinkle) dydį, siūlomi įvairūs sprendimai. Vienas variantas yra mazgams neturėti seniausių blokų grandinės dalių, o senus blokus su transakcijomis iškelti į atskirą duomenų bazę. Kitas sprendimo būdas - pagrindinėje blokų grandinėje laikyti tik transakcijų maišos rezultatus, o pačius transakcijų duomenis iškelti už grandinės ribų (angl. *off-chain*) [LXC⁺17].

2.6.3. Anonimiškumas

Manoma, kad blokų grandinės išsaugo naudotojų privatumą dėl to, kad transakcijose atskleidžiamas tik naudotojų viešas raktas vietoj tikrosios tapatybės [ZXD⁺17]. Tačiau, tyrimai rodo, kad iš viešojo rakto galima atsekti tikrąją naudotojo tapatybę [Bar07]. Taip pat, transakcijoje būvę duomenys (pvz. pervestas pinigų kiekis) viešojo blokų grandinėje bus matomas visiems tinklo dalyviams.

Galimi skirtingi sprendimai didesniai anonimiškumui pasiekti. Pirmiausia, reikia atsižvelgti, ar negalima naudoti privačios blokų grandinės, kurioje blokų skaitymo teisės būtų apribotos. Kitas variantas - blokų grandinėje saugoti užšifruotus duomenis, kurių skaitymui reikia turėti dešifravimo raktą. Jeigu tai netinkama išeitis, tuomet transakcijas galima atlikti per tarpininką, kuris išskaidys vieną transakciją į keletą, vykdomų su skirtingais viešaisiais raktais, ir taip bus sunkiau atsekti transakcijos autorių [ZXD⁺17].

3. Blokų grandinės naudojimas skaitmeninės tapatybės valdy- me

Šiame skyriuje nagrinėjamas blokų grandinės technologijos panaudojimas tapatybės valdy-
me. Tiriama, kaip blokų grandinės savybės gali padėti išspręsti egzistuojančias naudotojų proble-
mas, apžvelgiami technologiją identiteto valdyje jau taikantys projektai.

3.1. Blokų grandinės savybių tinkamumas identiteto valdymui

2 skyriuje apibendrintos naudotojų problemos tapatybės valdyje rodo, kad naudotojams in-
ternete trūksta savo asmens duomenų kontrolės, jie turi pasitikėti paslaugų programų veikimu bei
tapatybės tiekėjo pasiekiamumu. Viešos blokų grandinės savybės atveria įvairių galimybių, kaip
spręsti susidariusias problemas:

1. Decentralizuota sistema eliminuoja vienintelio nesėkmės taško situaciją. Pritaikius decent-
ralizuotą blokų grandinę tapatybės valdymo sistemoje, dėl blokų grandinės išskirstymo po
skirtingus mazgus tapatybės tiekėjas nebebūtų vienintelis nesėkmės taškas identiteto valdy-
mo infrastruktūroje. Tokiu būdu tapatybės informacija būtų prieinama ir tada, kai tapatybės
tiekėjas yra nepasiekiamas.
2. Visiems prieinami grandinės įrašai ir sistemos veikimas padidina skaidrumą. Blokų grandī-
nėje saugant naudotojo suteiktas prieigas skirtingoms paslaugoms, naudotojas betkada galėtų
matyti paslaugoms suteiktas teises. Prieigų suteikimą aprašius išmaniuosiuose kontraktuose,
paslaugos duomenis pasiekti galėtų tik tada, kai naudotojas išreikštinai tai patvirtina.
3. Nekintamumas apsaugo nuo galimų įsilaužimų siekiant pakeisti įrašus. Blokų grandinėje
saugant naudotojo atributus ar paslaugų prieigos teises, o rašymo teises į grandinę turint
tik naudotojui ar jo pasirinktoms programoms, naudotojas būtų užtikrintas, kad neįvyko jo
paties neautorizuotų pakeitimų.

Įvardyti blokų grandinės pranašumai būtų sunkiau įgyvendinami taikant įprastą centralizuotą
duomenų bazę. Tokia duomenų bazė būtų kontroliuojama vienos organizacijos ar asmens, tad išlik-
tų vienintelis nesėkmės taškas. Įrašų prieinamumu ir nekintamumu bei veikimo skaidrumu turėtų
išreikštinai rūpintis duombazės kūrėjai, kai šias savybės užtikrina pati blokų grandinės technologi-
ja. Pranašumas, kurį šiuo atveju turi duomenų bazė, yra plečiamumas - saugoti didžiulius kiekius
tapatybės duomenų blokų grandinėje yra gana brangu.

2.6 skyrelyje įvardyti pagrindiniai blokų grandinės apribojimai nesudaro didelių kliūčių šią
technologiją taikyti skaitmeninės tapatybės valdyje. Anonimiškumo klausimą galima spręsti šif-
ruojant saugomus tapatybės duomenis, o raktus dešifravimui suteikiant tik norimiems asmenims.
Blokų grandinės greitimeika neturėti kelti problemų standartinėms tapatybės valdymo sistemos ope-
racijoms [LXC⁺17], o didėjant įrašų kiekiui dalį jų būtų galima iškelti į šalutinę grandinę (angl. *off-
chain*). Daugumos ataka decentralizuotoje viešojo blokų grandinėje išlieka kaip galimas pavojus,
tačiau šią riziką galima sumažinti pasirenkant tokią blokų grandinę, kurioje tokios atakos vykdymo
kaina būtų per didelė.

3.2. Blokų grandinės projektai tapatybės valdymo srityje

Tiriant blokų grandinės naudojimą skaitmeninės tapatybės valdymo srityje, rasta įvairių technologijų bandančių pritaikyti projektų. Šis skyrius skirtas trumpai apžvelgti autoriaus nuomone įdomiausius projektus, susijusius su tapatybe bei blokų grandinės technologija.

3.2.1. Blockstack

„Blockstack“ projektas yra kompiuterių tinklas, kolektyviai saugantis globalų domenų vardų bei jų viešų raktų registrą. Su šiuo registru, „Blockstack“ įgyvendina decentralizuotą domenų vardų sistemą, kur kiekvienas norintis gali užregistruoti savo domeną [ASN⁺17]. „OneName“ projektas, naudojantis „Blockstack“ sistemą, siekia sukurti decentralizuotą tapatybę, kurią susikūręs naudotojas galėtų atsisakyti visų kitų turimų socialinių tinklų („Facebook“, „Google“) tapatybių.

3.2.2. UPort

„Consensys“ įmonės „UPort“ projektas panašus į „OneName“ - jis skirtas naudotojams turėti decentralizuotas skaitmenines tapatybes, registruotas „Ethereum“ tinkle, su kuriomis galėtų atlikti „Ethereum“ transakcijas. Naudotojai su „UPort“ paskyra galėtų prisijungti prie paslaugų bei valdyti savo atributus. Šio darbo rašymo metu „UPort“ turi parengę integracijas paslaugoms ir elektroninę piniginę, skirtą „Ethereum“ raktų ir transakcijų valdymui, tačiau mobilioji programėlė „UPort“ skaitmeninei tapatybei valdyti vis dar ruošama (angl. *under development*) [Con18].

3.2.3. Tradle

„Tradle“ yra blokų grandine paremtas projektas, skirtas finansinėms institucijoms (bankams, draudimo įmonėms) įgyvendinti „pažink savo klientą“ (angl. *Know Your Customer - KYC*) procesus, suteikiant klientams didesnę asmens duomenų kontrolę. „Tradle“ suteikia klientams programinę įrangą, kuri padės integruoti „Tradle“ platformą su jų įmonėse jau egzistuojančia klientų duomenų saugojimo infrastruktūra. Klientams išreikštinai sutikus, „Tradle“ taip pat suteikia galią mybę perduoti asmenų duomenis iš vienos finansinės įmonės į kitą [Baa16].

3.3. Apibendrinimas

Apžvelgti projektai rodo, kad blokų grandinės technologija jau taikoma skaitmeninės tapatybės valdymo srityje. Verta pastebėti, kad tiek „Blockstack“, tiek „UPort“ koncentruojasi į atskiros skaitmeninės tapatybės ar jos dalies saugojimą blokų grandinėje.

Blokų grandinės savybės suteikia pagrindą šią technologiją skaitmeninės tapatybės valdyme naudoti kaip įrankį, leidžiantį naudotojams autorizuoti paslaugas pasiekti jų duomenis. Decentralizuotumas panaikina didelę priklausomybę nuo tapatybės tiekėjų, o nekeitamumas bei skaidrumas leidžia patikimai aprašyti nepasikeisiančias taisykles, nurodančias, kaip paslaugos gali pasiekti tapatybės atributus. Visa tai leidžia teigti, kad blokų grandinė gali būti panaudota ne tik asmens duomenims saugoti, bet ir naudotojo kontroliuojamam paslaugų autorizavimui įgyvendinti.

4. Tapatybės atributų valdymo modelis

Atsižvelgus į blokų grandinės savybes, tinkamas tapatybės valdymo problemoms spręsti, šiame skyriuje pateikiamas vieša blokų grandine paremtas skaitmeninės tapatybės valdymo modelis. Modelis skirtas spręsti 1.5 skyrelyje apibendrintoms naudotojų problemoms. Kadangi tapatybės valdymas apima daug skirtingų procesų, aprašomas modelis apsiriboja asmens tapatybės atributų valdymu, saugojimu ir perdavimu.

Modelio architektūra kurta atsižvelgiant į MIT tyrime [ZNP15] pristatytus teorinius protokolus, kurie apibrėžia mobiliųjų programėlių, naudotojo bei blokų grandinės bendravimą, asmeniui suteikiant telefone saugomą informaciją (pvz., lokacijos duomenis) naujai parsisiųstai programėlei. Aprašomas modelis modifikuoja bendravimą, siekiant jį pritaikyti naudojimui internete, taip pat išplečia funkcionalumą, leidžiant naudotojui pačiam įvesti norimą informaciją.

4.1. Modeliui keliami reikalavimai

Naudotojams kylančios problemos tapatybės valdyme remiasi į tai, kad jų tapatybė yra visiškai patikėta valdyti tapatybės tiekėjams. Dėl menko naudotojų įsitraukimo į tapatybės valdymo procesus, asmenys neretai lieka tik pasyvūs stebėtojai.

Siekiant išspręsti šią problemą, kuriamo modelio reikalavimai kurti pagal į naudotoją orientuotos tapatybės (angl. *user-centric identity*) principus. Ši paradigma akcentuoja naudotojus kaip centrinę identiteto valdymo sistemų dalį, perduodant paslaugų ir tapatybės tiekėjų turimą tapatybės kontrolę naudotojams [CY10]. Tokiu būdu, naudotojai turi aktyviau prižiūrėti ir dalyvauti tapatybės valdymo procesuose (dažniausiai naudojant papildomą programinę įrangą), tačiau geriau žino, kaip ir kur yra naudojami jų asmens duomenys.

Taikant į asmenis orientuotos skaitmeninės tapatybės principus, reikalavimai modeliui suformuluoti naudotojų istorijų forma:

1. Kaip interneto naudotojas, aš noriu žinoti, kurios programos turi prieigą prie kurių mano asmens duomenų.
2. Kaip interneto naudotojas, aš noriu kontroliuoti savo asmens duomenis ir pats pasirinkti, kurios mano naudojamos paslaugos gali pasiekti mano asmens duomenis.
3. Kaip interneto naudotojas, aš noriu galimybės lengvai atnaujinti savo asmens duomenis vienoje vietoje.
4. Kaip interneto naudotojas, aš nenoriu, jog mano asmens duomenų pasiekiamumas priklausytų tik nuo vienos trečiosios šalies pasiekiamumo.

Pateiktos naudotojų istorijos padengia 1 skyriuje apibrėžtus asmenų poreikius tapatybės valdymo sistemoms bei išskirtas kontrolės, pasitikėjimo ir skaidrumo trūkumo problemas. Interneto tapatybių valdymo sistemų saugumo atakos (angl. *cross site scripting*, *phishing*) yra plati tema, verta atskiro tyrimo, tad ji šiame modelyje nebus nagrinėjama.

4.2. Modelio dalys

Modelis sudarytas iš trijų dalių: atributų saugyklos išmaniojo kontrakto, paslaugų registro išmaniojo kontrakto bei atributų valdymo programos.

4.2.1. Atributų saugyklos išmanusis kontraktas

Atributų saugyklos išmanijame kontrakte yra saugomi šifruoti naudotojų atributai bei jų suteikimo logika. Šis kontraktas atsakingas už:

- naudotojo atliekamą prieigų suteikimą. Naudotojas, kviesdamas kontrakto funkciją, gali pasirinkti, ar suteikti konkrečiai paslaugai prieigą prie jos norimo atributo. Prieigos yra valdomos ne visos tapatybės, o atskirų atributų lygmenyje;
- šifruotų atributų saugojimą. Kontrakte saugomi naudotojo tapatybės atributai. Kadangi modelyje naudojama vieša blokų grandinė, joje esantys duomenys prieinami visiems - dėl to saugomi šifruoti atributai. Jeigu naudotojas N yra autorizavęs paslaugą P pasiekti atributą A, tuomet kontrakte išsaugomas N ir P simetrišku šifro raktu (angl. *symmetric encryption key*) užšifruotas atributas A. Taip tik paslauga P ir naudotojas N, turintys šifro raktus, galės perskaityti viešame išmanijame kontrakte esantį atributą;
- pateikiamas funkcijas paslaugoms bei naudotojui pasiekti atributus. Išmanusis kontraktas pirmiausia atsižvelgia į funkcijos kvietėją. Jei kreipiasi naudotojas, jam grąžinama šifruota atributo reikšmė. Jei kreipiasi paslauga, tikrinama, ar naudotojas yra patvirtinęs jos prieigą norimam atributui. Jei taip, grąžinama šifruota reikšmė. Jei ne, grąžinamas pranešimas, kad prieiga atmesta. Jeigu naudotojas šios paslaugos prieigos dar nesvarstęs, apie paslaugos P siekį gauti naudotojo N atributą A pranešama naudotojui. Kai jis prieigą patvirtins arba atmes, paslauga galės pasiekti atributą A.

Atributai kontrakte atskiriami pagal jų identifikatorius (pvz. 1 - vardas, 2 - telefono numeris ir t.t.). Siekiant minimizuoti blokų grandinėje laikomą informaciją, atributų identifikatorių žodynas nesaugomas pačiame kontrakte. Svarbu, kad šis žodynas būtų viešai prieinamas visoms paslaugoms - jis galėtų būti pateikiamas modelio dokumentacijoje.

4.2.2. Atributų valdymo programa

Atributų valdymo programa yra skirta palengvinti naudotojo bendravimą su blokų grandine. Teoriškai, naudotojas galėtų pats formuoti užklausas, generuoti šifro raktus, perduoti jos paslaugoms, užšifruoti ir dešifruoti siunčiamas reikšmes, tačiau tai nėra patogu. Dėl to ši programa padeda atlikti „nematomą darbą“ bei supaprastina naudotojo sąsają su bloko grandine. Programoje naudotojas gali:

- suteikti arba atmesti paslaugai P prieigą prie atributo A,
- peržvelgti suteiktas prieigas ir keisti jas,
- įvesti, keisti ar trinti atributų reikšmes.

Atributų valdymo programos veikimas panašus į kriptovaliutos piniginės veikimą. Kaip tokia piniginė leidžia naudotojui per vartotojo sąsają pervesti pinigus iš naudotojo sąskaitos į kitą sąskaitą, taip atributų valdymo programa leidžia naudotojui valdyti savo paskyros atributus blokų grandinės išmaniajame kontrakte. Programa veikia naudotojo vardu (angl. *on user's behalf*), turėdama jo privatų raktą - taip ji gali kreiptis į blokų grandinę iš naudotojo paskyros, o išmanusis kontraktas, gavęs užklausą iš atributų valdymo programos, žino, koks naudotojas kreipiasi į funkciją.

Modelyje nėra apibrėžiama, kaip turi būti įgyvendinta ši programa - tai gali būti kompiuterio darbalaukio programa, mobilioji programėlė ar interneto tinklapis.

4.2.3. Paslaugų registro išmanusis kontraktas

Šiame modelyje paslaugos yra identifikuojamos pagal jų blokų grandinės paskyros adresą. Atributų valdymo programa, skaitanti išmaniajame kontrakte laukiančias užklausas, jose mato išsaugotą besikreipusios paslaugos adresą.

Nors adresas yra viešas ir unikaliai identifikuoja kiekvieną blokų grandinės dalyvį, turintį paskyrą, tačiau iš adreso nustatyti tikrąją dalyvio tapatybę yra sudėtinga - pats adresas nėra tiesiogiai susiejamas su tikru asmens identifikatoriumi (pvz. asmens kodu ar paslaugos įmonės kodu). Tokiu būdu, atributų valdymo programoje matant tik paslaugos adresą dalyvis gali nežinoti, kokią paslaugą jis autorizuoja.

Šiai problemai spręsti modelyje yra atskiras išmanusis kontraktas, kuris funkcionuoja kaip paslaugų registras. Kiekviena paslauga, besinaudojanti modeliu, atlieka vieną transakciją į šį registrą, joje nusiųsdama savo pavadinimą bei slaptą kodą, sugeneruotą atributų valdymo programos. Kai atributų saugyklos kontrakte bus išsaugota nauja paslaugos P užklausa pasiekti atributą, atributų valdymo programa pagal P adresą gali kreiptis į šį registrą ir įsitikinti, ar P tikrai užsiregistravo (rasti iš P paskyros atliktą transakciją ir įrašytą unikalų P registracijos kodą). Taip paslaugų registro kontrakte yra saugomos tik patikimos paslaugos bei jų pavadinimai, kurie bus matomi naudotojui atributų valdymo programoje.

Atributų valdymo programa registracijos kodą suteikia tik validžioms paslaugoms - t.y., ji turi užtikrinti, kad tik savo tapatybę įrodžiusios paslaugos gali naudotis modeliu, taip apsisaugant nuo galimų apsimetėlių. Kaip atributų valdymo programa tai atlieka, šiame darbe detalai nenagrinėjama. Galimos alternatyvos pristatomos 6 skyrelyje.

4.3. Pagrindiniai naudojimo atvejai

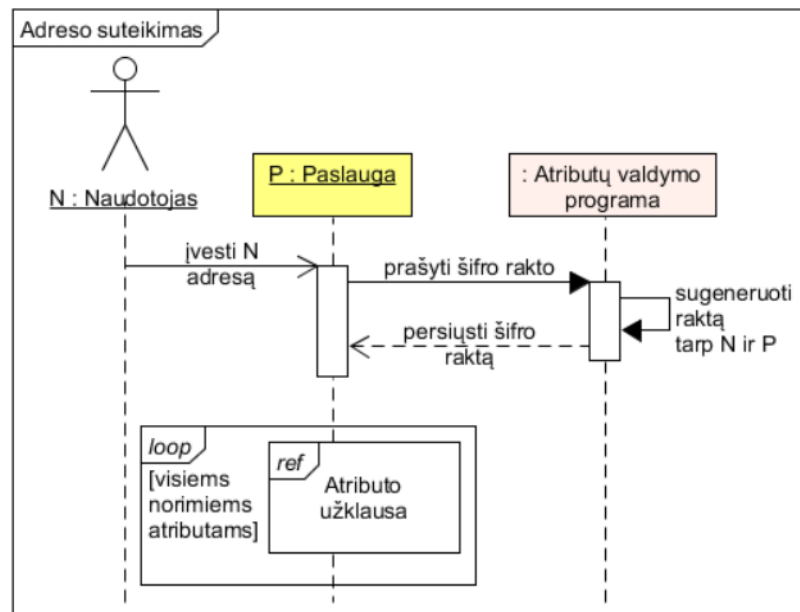
Šiame skyriuje UML sekų diagramomis pateikiami pagrindiniai modelio panaudos atvejai (angl. *use cases*).

4.3.1. Naudotojo adreso suteikimas paslaugai

Kai paslauga nori pasiekti naudotojo asmens duomenis, ji paprašo naudotojo pateikti jo paskyros adresą (naudotojo patogumui, adresas rodomas atributų valdymo programoje), kuris yra

viešas naudotojo identifikatorius blokų grandinėje. Su gautu adresu paslauga P gali kreiptis į blokų grandinę ir prašyti norimų naudotojo atributų (žr. 7 pav.). Gavusi šį adresą, paslauga kreipiasi į atributų valdymo programą gauti šifro raktą, kurio reikės norint dešifruoti iš blokų grandinės gautas atributų reikšmes.

Modelis neapibrėžia, kada naudotojas N pateikia adresą paslaugai P. Svarbu, kad paslauga P gautų šį adresą ir unikalų šifro raktą tarp N ir P, nes be jų P negalės gauti ir perskaityti norimų tapatybės duomenų. Šis suteikimas galėtų būti atliekamas prisijungimo metu, įtraukiant papildomą žingsnį.



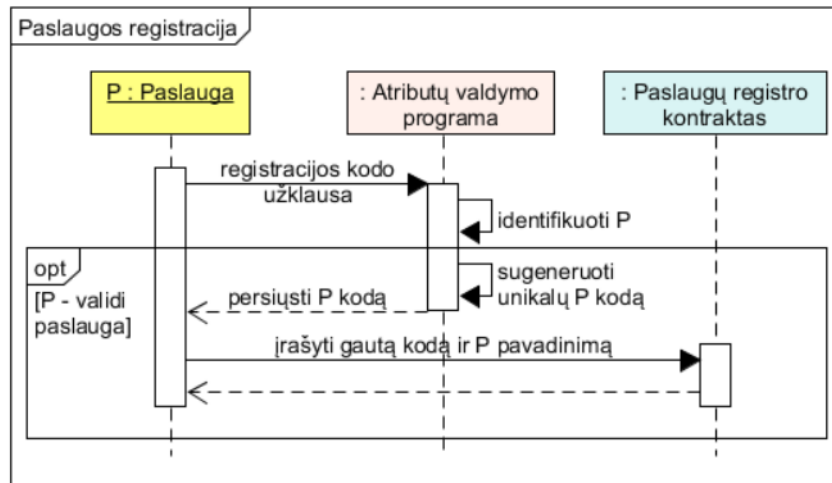
7 pav. Naudotojo adreso suteikimas paslaugai

4.3.2. Paslaugos registracija

Tapatybės saugyklos išmaniajame kontrakte yra saugomi besikreipusių paslaugų adresai. Kadangi kontraktas yra viešas, į jį kreiptis gali bet kas, turintis blokų grandinės paskyrą. Todėl, norint atskirti, kurios užklauskos yra iš tikrųjų atliktos paslaugų, modelyje yra paslaugos registracijos žingsnis (žr. 8 pav.).

Paslauga P, norinti naudotis modeliu, kreipiasi į atributų valdymo programą registracijos kodui gauti. Atributų valdymo programa patikrina P autentiškumą ir tik įsitikinusi, kad tai nėra programišių atliekama ataka, suteikia šį kodą. Gavusi šį kodą, P kreipiasi į paslaugų registro išmanųjį kontraktą ir į jį įrašo gautą kodą K bei P pavadinimą X. Taip registro kontrakte būsenoje išsaugoma, kad iš P adreso įrašytas kodas K ir pavadinimas X.

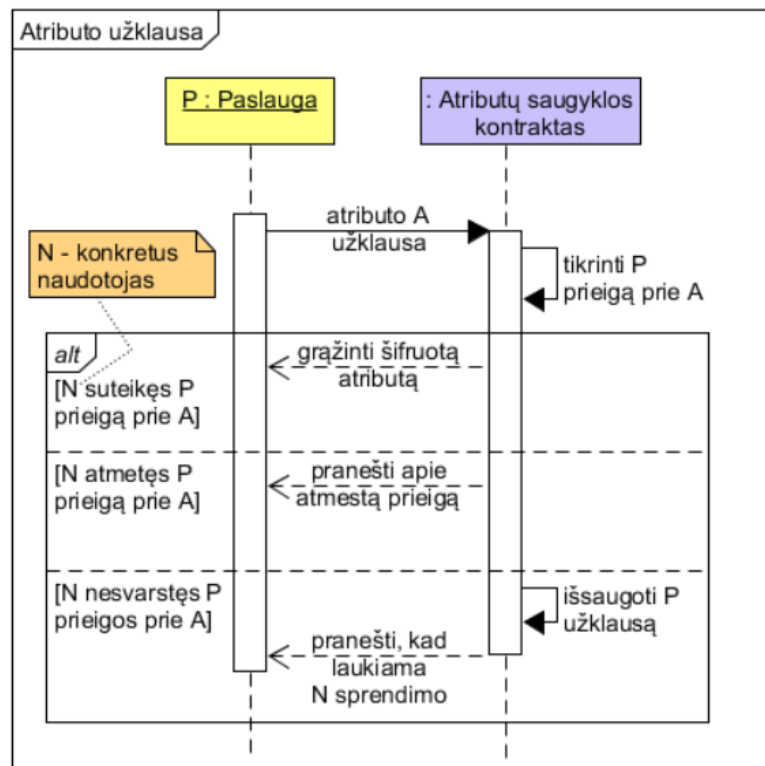
Kai P atliks užklausą į atributų saugyklos kontraktą, jame bus išsaugotas adresas, iš kurio P kreipėsi. Tuomet atributų valdymo programa pagal šį adresą galės patikrinti, ar paslaugų registro kontrakte iš P adreso įrašytas kodas K. Tik radus tokį įrašą, bus galima P atributo užklausą traktuoti kaip validžią ir naudoti registre įrašytą pavadinimą X.



8 pav. Paslaugos registracija paslaugų registro išmaniajame kontrakte

4.3.3. Atributo užklausa

Paslauga P, norinti gauti tam tikrą asmens atributą (pvz. gimimo datą), kreipiasi į atributų saugyklos išmanųjį kontraktą (žr. 9 pav.). Kontraktas tuomet patikrina, ar ši paslauga turi prieigą prie pageidaujamo atributo. Jei turi, tuomet grąžina šį atributą. Jis užšifruotas paslaugos P turimu šifro raktu, tad paslauga gali jį dešifruoti ir perskaityti duomenis. Jei naudotojas atmetęs prieigą, apie tai pranešama paslaugai. Jei naudotojas dar nesvarstęs šios prieigos, išsaugoma laukianti (angl. *pending*) paslaugos P atributo A užklausa ir laukiama naudotojo sprendimo. Naudotojas šią laukiančią užklausą galės pamatyti savo atributų valdymo programoje ir ten atlikti sprendimą.



9 pav. Paslaugos atliekama atributo užklausa

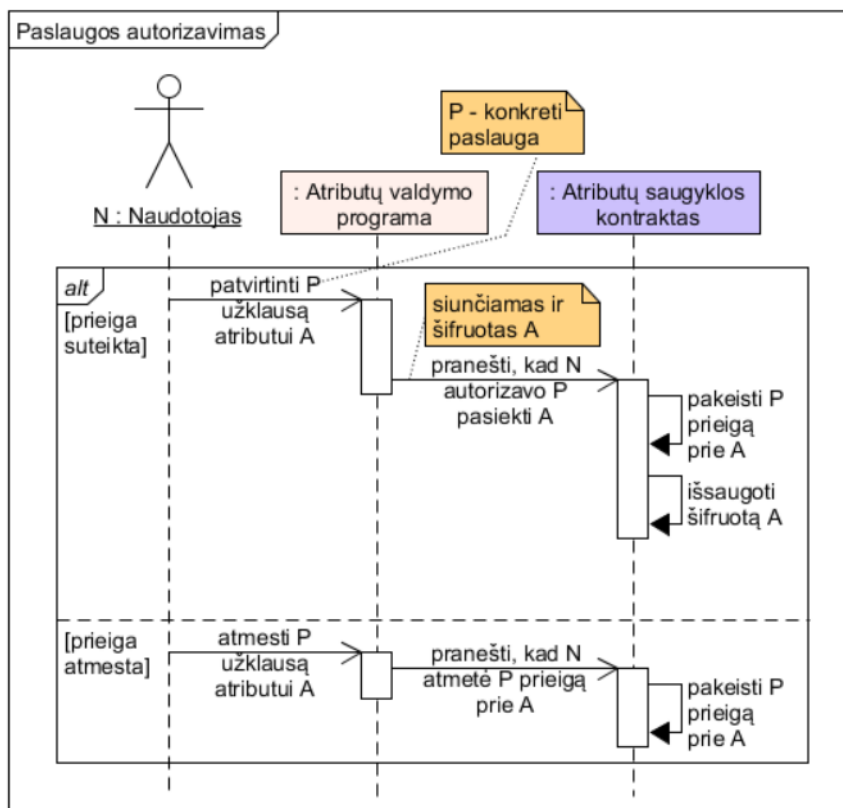
4.3.4. Paslaugos autorizavimas

Atributų valdymo programa, stebinti atributų saugyklos kontraktą, praneša naudotojui apie naujas paslaugų užklaudas. Tuomet naudotojas gali pasirinkti, ar suteikti, ar atmesti prieigą prie norimo atributo A paslaugai P. (žr. 10 pav.). Atributų saugyklos kontraktas asmeniui leidžia autorizuoti tik savo naudojamą paslaugą¹.

Jei naudotojas sutinka suteikti prieigą, tuomet jis įveda atributo reikšmę ir atributų valdymo programa užšifruoja ją. Užšifravus reikšmę, duomenys nusiunčiami į išmanųjį kontraktą ir jame pažymima, kad paslauga P naudotojo N autorizuota pasiekti atributą A.

Jei naudotojas prieigą atmeta, tuomet blokų grandinėje pažymima, kad paslauga P nėra autorizuota pasiekti naudotojo N atributą A.

Jei naudotojas vėliau nuspręstų pakeisti savo sprendimą (pvz. panaikinti suteiktas prieigas prie atributo A paslaugai P), jis šį paslaugos autorizavimo procesą galėtų pakartoti ir jau esamai prieigai.



10 pav. Naudotojo atliekamas paslaugos autorizavimas

4.3.5. Pranešimas naudotojui apie naują atributo užklausą

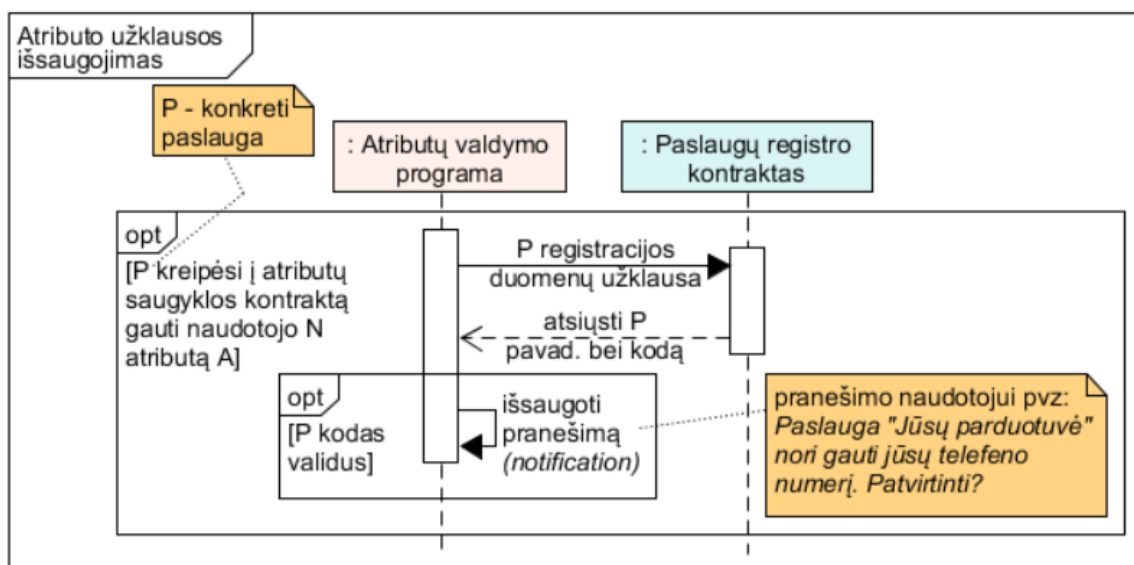
Norint išsaugoti naują atributo užklausą, kurią turės patvirtinti naudotojas, atributų valdymo programa turi sužinoti apie ją iš atributų saugyklos kontrakto. Tai galima pasiekti klausantis

¹ Ar naudotojo N1 įrašų nebando pakeisti N2, atskiriama iš to, kas kreipiasi į funkciją.

kontrakto paskelbiamų įvykių². Jeigu programa „neišgirdo“ realiu laiku paskelbto įvykio, ji gali kreiptis į kontraktą ir pasiekti anksčiau paskelbtus įvykius.

Paskelbtame užklausoje įvykyje pateikiamas besikreipusios paslaugos P adresas, norimo atributo A identifikatorius bei kurio naudotojo N atributo paslauga nori. Pagal P adresą programa kreipiasi į paslaugų registro išmanųjį kontraktą ir gauna P registracijos duomenis (žr. 11 pav.). Validavus P registraciją (P paslaugų registro kontrakte įrašė tinkamą kodą), programa praneša naudotojui N apie naują P užklausą. Šioje užklausoje N matys P pavadinimą ir norimą gauti atributą - iš to naudotojas galės nuspręsti, ar patvirtinti, ar atmesti šią prieigos užklausą.

Kadangi registraciją paslaugai P pakanka validuoti vieną kartą, atributų valdymo programa gali prisiminti sėkmingą P registraciją ir tolimesnėse užklausoje registracijos nebevaliduoti.



11 pav. Pranešimas naudotojui apie naują atributo užklausą

² Jei naudojama blokų grandinė neturi įvykių mechanizmo, atributų valdymo programa gali periodiškai kreiptis į kontraktą ir tikrinti, ar jame yra naujų išsaugotų užklausų.

5. Tapatybės atributų valdymo modelio prototipas

Tapatybės atributų valdymo modelis sudarytas iš 3 dalių: atributų saugyklos kontrakto, paslaugų registro kontrakto bei atributų valdymo programos (žr. 4.2.1 sk.). Siekiant patvirtinti galimą modelio veikimą ir įvertinti jo kainą, naudojant „Solidity“ programavimo kalbą „Ethereum“ blokų grandinei buvo realizuoti atributų saugyklos bei paslaugų registrų kontraktai. Taip pat, kadangi vienas iš naudotojų lūkesčių skaitmeniniam tapatybės valdymui yra patogumas, jam įvertinti sukurti atributų valdymo mobiliosios programėlės maketai.

5.1. Pasirinktos technologijos

Išmaniesiems kontraktams programuoti pasirinkta naudoti „Ethereum“ platformą ir „Solidity“ programavimo kalbą. Priežastys tam:

- programuotojų bendruomenė. Nuo 2015-ųjų veikianti „Ethereum“ platforma turi nemažą palaikančių asmenų bendruomenę, kuri prisideda prie pačio „Ethereum“ atviro kodo vystymo bei atsako į pradedančiųjų klausimus;
- technologijos branda. Kai išmaniųjų kontraktų programavimas yra vis dar gana nauja sritis, „Ethereum“ technologija, veikianti nuo 2015-ųjų, yra gana gerai dokumentuota, o rekomenduojama kontraktams rašyti programavimo kalba „Solidity“ [Eth15a] turi keletą skirtingų kūrimo karkasų programavimo aplinkai paruošti [Eth16].

Išmanieji kontraktai kurti naudojant „Solidity“ programavimui skirtą „Truffle“ kūrimo karkasą, taikant „ganache-cli“ lokalią blokų grandinę testavimui. Kontraktų funkcijos išbandytos jas kviečiant iš sukurto testinio „React“ puslapio. Kodas pasiekiamas „GitHub“ repozitorijoje <https://github.com/Ualdas11/blockchain-attribute-management>.

Mobiliosios programėlės maketai sukurti naudojant „Proto.io“ prototipavimo įrankį. Šis įrankis pasirinktas dėl patogios naudotojo sąsajos, galimybės naudoti naršyklėje ir didelės paruoštų elementų kolekcijos.

5.2. Išmanieji kontraktai

Atributų saugyklos kontraktas skirtas naudotojų atributų saugojimui bei prieigų suteikimui realizuoti. Kontraktas sudarytas iš kontrakto saugyklos, kurioje saugomos koduotos atributų reikšmės ir jų prieigos, įvykių bei funkcijų. Kontrakto kodas pateikiamas priede nr. 1.

Kontrakte apibrėžti šie įvykiai:

1. *AccessRequested*. Skirtas pranešti, kad paslauga P prašo prieigos prie naudotojo N atributo A. Šio įvykio laukia atributų valdymo programa ir ją gavusi, gali pranešti naudotojui N apie naują paslaugos P užklausą.
2. *AccessChanged*. Skirtas pranešti, kad naudotojas N pakeitė paslaugos P prieigą prie atributo A. Paslaugos, laukiančios šio įvykio, ją gavusios sužino apie galimai suteiktą arba panaikintą prieigą prie atributo A.

Kontrakte apibrėžtos šios viešos funkcijos:

1. *grantAccess*. Skirta naudotojui N suteikti paslaugai P prieigą prie atributo A. Į funkciją paduodamas A identifikatorius, P adresas bei N ir P šifro raktu užkoduota A reikšmė. Funkcijoje keičiama siuntėjo atributo reikšmė - taip užtikrinama, kad naudotojas N negalės pakeisti naudotojo N1 atributo. Funkcija paskelbia *AccessChanged* įvykį;
2. *removeAccess*. Skirta naudotojui N panaikinti paslaugos P prieigą prie atributo A. Į funkciją paduodamas A identifikatorius ir P adresas. Kaip ir *grantAccess* atveju, keičiama siuntėjo atributo prieiga. Funkcija paskelbia *AccessChanged* įvykį;
3. *requestAccess*. Skirta paslaugai P pranešti, kad ji nori prieigos prie naudotojo N atributo A reikšmės. Į funkciją paduodamas A identifikatorius bei N adresas. Funkcija paskelbia *AccessRequested* įvykį;
4. *getAttribute*. Skirta gauti naudotojo N paslaugai P skirtą atributą A. Į funkciją paduodamas A identifikatorius, N adresas bei P adresas. Jei funkciją iškvietė N (t.y., pats naudotojas kreipiasi gauti suteiktą atributą A), grąžinamas siekiamas atributas. Jei kreipiasi paslauga, galimos 3 grąžinamos reikšmės. Jei prieiga naudotojo suteikta - grąžinama A reikšmė. Jei prieiga atmesta - pranešama, kad paslauga neautorizuota. Jei prieiga naudotojo dar nebuvo svarstyta, prašoma pirma kreiptis į *requestAttributeAccess* funkciją.
Funkcija realizuota kaip vaizdo (angl. *view*) funkcija - ji nekeičia kontrakto būsenos, todėl jos kvietimas yra nemokamas.

Kadangi įvykių paskelbimas yra pigesnis nei kontrakto būsenos keitimas, tai išnaudota paskelbiant apie naują prieigos užklausą (vietoj alternatyvos pakeisti kontrakto būseną ir nurodyti, kad paslauga kreipėsi). Jei paslauga arba atributų valdymo programa realiu laiku „neišgirdo“ įvykio, ji vėliau gali pasiekti visą įvykių sąrašą (angl. *log*).

Paslaugų registro kontraktas skirtas užsiregistravusių paslaugų sąrašui saugoti. Paslaugų siųstuose įrašuose laikomas registracijos kodas bei paslaugos pavadinimas. Kontrakto kodas pateikiamas priede nr. 2.

Kontraktą sudaro dvi funkcijos:

1. *register*. Skirta paslaugai užsiregistruoti. Į funkciją paduodamas registracijos kodas bei paslaugos pavadinimas, kurie išsaugomi kontrakto būsenoje.
2. *getService*. Skirta atributų valdymo programai išgauti duomenis apie besikreipusią paslaugą. Funkcijai paduodamas paslaugos adresas. Funkcija realizuota kaip vaizdo (angl. *view*) funkcija - ji nekeičia kontrakto būsenos, todėl jos kvietimas yra nemokamas.
Atributų valdymo programa kreipiasi į šią funkciją tuomet, kai gauta nauja paslaugos P atributo A užklausa. Iš gauto kodo programa gali atskirti, ar ši paslauga nėra apsimetėlė (žr. 4.2.3 skyrelį). Jei kodas nesutampa, atributo prieigos užklausą galima ignoruoti. Jei kodas sutampa, gautą pavadinimą galima rodyti atributų valdymo programoje ir pranešti apie prieigos užklausą naudotojui.

Suprogramuotų kontraktų kainos pateikiamos 4 lentelėje. Kadangi eterio kriptovaliutos kaina nuolat keičiasi, verta atsižvelgti, kad kainos gali kisti - čia pateikiamos kainos, matuotos 2018 gegužės 20-ą dieną. Kainos nustatytos pasitelkus „Truffle“ karkaso pateikiamą *estimateGas* funkciją bei transakcijų „Ethereum“ blokų grandinėje skaičiuoklę [Eth17]. Į visas eilutės tipo reikšmes paduotos 20 simbolių eilutės (priklausomai nuo kontrakte saugomų duomenų kiekio, kaina gali kisti), išskyrus į *removeAccess* funkciją, kur įrašomas „X“, pažymint panaikintą prieigą.

4 lentelė. Tapatybės atributų valdymo modelio išmaniųjų kontraktų kainos [Eth17]

Vienetas	Kuro kiekis	Kaina, ETH	Kaina, €
Atributų saugyklos kontrakto sukūrimas	774297	0,0061944	3,72
Funkcija <i>getAttribute</i>	0	0	0,00
Funkcija <i>grantAccess</i>	51974	0,0004158	0,25
Funkcija <i>removeAccess</i>	51543	0,0004123	0,25
Funkcija <i>requestAttributeAccess</i>	24768	0,0001981	0,12
Paslaugų registro kontrakto sukūrimas	423418	0,0033873	2,04
Funkcija <i>register</i>	65501	0,000524	0,31
Funkcija <i>getService</i>	0	0	0,00

5.3. Atributų valdymo mobiliosios programėlės interaktyvus prototipas

Siekiant patikrinti, kaip naudotojas galėtų valdyti savo asmens duomenis atributų valdymo programos pagalba, sukurtas mobiliosios programėlės naudotojo sąsajos interaktyvus prototipas. Priede nr. 3 pateikiami pagrindiniai jo langai. Pats interaktyvus prototipas pasiekiamas „GitHub“ repozitorijoje <https://github.com/Ubaldas11/blockchain-attribute-management>.

Naudotojo sąsajos prototipe asmuo nesunkiai gali apžvelgti visas suteiktas prieigas, pakeisti jas. Jau patvirtintos bei dar laukiančios užklauskos atskiriamos sekcijomis. Atributai, turintys dar nepatvirtintų užklauskų žymimi su pranešimo ikonėle. Esamą užklauskų būseną galima atskirti iš naudojamų spalvų (žalia - suteikta prieiga, raudona - atmesta, pilka - dar nesvarstyta). Nustatymų lange rodomas naudotojo paskyros adresas, kurį asmuo gali suteikti paslaugoms, norinčioms pasiekti jo atributus blokų grandinės išmaniajame kontrakte.

Sukurtas interaktyvus prototipas leidžia teigti, kad tokia mobilioji programėlė leistų naudotojui patogiai valdyti savo asmens duomenis.

6. Tapatybės atributų valdymo modelio vertinimas

Šiame skyriuje vertinamas 4 skyriuje pristatytas blokų grandine paremtas tapatybės atributų valdymo modelis: kokie jo privalumai, trūkumai, pritaikymo barjerai.

6.1. Privalumai

6.1.1. Naudotojui suteikta atributų valdymo kontrolė

Naudotojas su atributų valdymo programa gali autorizuoti paslaugas pasiekti jo atributus, esančius blokų grandinėje. Programoje taip pat galima pamatyti visus įvestus atributus ir paslaugas, kurios yra autorizuotos juos pasiekti. Naudotojas taip pat gali pakeisti anksčiau priimtą sprendimą ir programa atnaujins prieigą blokų grandinėje. Naudotojui nusprendus pakeisti atributo reikšmę, jis tai padaro atributų valdymo programoje, o ši kreipiasi į blokų grandinę ir joje atnaujina esančias reikšmes. Kaip galėtų atrodyti tokia atributų valdymo programa pateikiama priede nr. 3. Išvardytos funkcijos padengia 4.1 skyrelio 1, 2 ir 3 reikalavimus.

6.1.2. Decentralizuoti asmens duomenys

Tapatybės duomenis saugant blokų grandinėje, atributai tampa pasiekiami nepriklausomai nuo vienos trečiosios šalies pasiekiamumo. Taip tiek paslaugų tiekėjai, tiek naudotojas gali bet kada pamatyti suteiktus atributus tol, kol bent vienas blokų grandinės mazgas yra pasiekiamas. Taip pat, nors duomenys decentralizuoti, dėl jų šifravimo jie išlieka prieinami tik naudotojui ir jo pasirinktoms paslaugoms. Šis privalumas įgyvendina 4.1 skyrelio 4-ą reikalavimą.

6.1.3. Sumažintas reikalingas pasitikėjimas trečiosiomis šalimis

Kadangi tapatybės atributai yra saugomi viešojoje, decentralizuotoje blokų grandinėje, kurios išmaniųjų kontraktų logika prieinama visiems, naudotojams nebereikia pasitikėti vien tik paslaugų bei tapatybės tiekėjais - jų atributai šiuo atveju priklauso nuo korektiško išmaniųjų kontraktų veikimo.

Verta pastebėti, kad pristatytame modelyje naudotojui vis dar reikia pasitikėti atributų valdymo programos veikimu. Tačiau, ši programa pati asmens duomenų nesaugo (tik persiunčia įvestas ir grąžina blokų grandinėje esančias reikšmes). Pasitikėjimui padidinti ši programa taip pat turėtų būti viešai prieinamo atviro kodo.

Taip pat, paslaugų tiekėjai, parsisiuntę atributą iš blokų grandinės, vis dar gali jį išsisaugoti. Tačiau, galimybė paslaugai pačiai nesaugoti naudotojo duomenų turėtų būti pagrindinė paskata naudotis šiuo modeliu - taip naudotojai labiau pasitikės šia paslauga. Galimas išsisaugojimo pavojus pastebimas ir [ZNP15] tyrime, kurio autoriai aptaria ir galimybę neleisti paslaugai pasiekti pačio duomens, o atlikti reikalingus skaičiavimus pačiame blokų grandinės tinkle.

6.2. Trūkumai

6.2.1. Paslaugų autentiškumo tikrinimas

Modelyje aptariama paslaugų registracija apsunkina modelį - paslaugos priverstos atlikti papildomas užklausas į blokų grandinę bei atributų valdymo programą. Taip pat, paslaugų registras padeda apsisaugoti nuo programišių ir atpažinti paslaugas tik tokiu atveju, jei registracijos kodai suteikiami tik patikimoms paslaugoms. Tai verčia naudotojus pasitikėti atributų valdymo programos gebėjimu atmesti galimas programišių užklausas.

Galimos kelios alternatyvos paslaugų identifikavimui. Atributų valdymo programa galėtų tikrinti paslaugos registracijos užklausos kilmę (angl. *HTTP Origin Header*) ir kliautis ja, atpažįstant paslaugas. Būtų galima naudoti jau sukurtus identiteto registravimo projektus, kuriuose paslaugos užregistruotų savo tapatybę (pvz. „NameCoin“ ar 3.2 skyrelyje minimu „Blockstack“). Kitas būdas, aptariamasis [Baa16] tyrime, būtų turėti registrą, kuriame paslaugų autentiškumą patvirtintų patikima trečioji šalis (pvz. bankas ar valdžios įstaiga). Tokiu atveju, paslaugos turėtų autentifikuotis šios institucijos sistemoje, o ji įrašytų į paslaugų registrą apie sėkmingą paslaugos registraciją. Tokiu atveju pasitikėjimas būtų perkeliamas pasirinktoms institucijoms.

6.2.2. Napatikimos atributų reikšmės

Paslaugų tiekėjai iš blokų grandinės gauna reikšmes, kurias įvedė pats naudotojas. Tai nesudaro jokių keblumų, kai jų teisingumą gali patikrinti pati paslauga (pvz. atsiųsti žinutę į telefono numerį), tačiau kai to atlikti negalima, paslaugai tenka pasitikėti naudotojo įvesta reikšme.

Tai būtų galima tobulinti, jei šias reikšmes galėtų verifikuoti atsakingos institucijos (pvz. bankas). Tuomet, šios institucijos turėtų teikti papildomą paslaugą, kurioje naudotojui paprašius, jos galėtų atlikti užklausą į blokų grandinę ir patvirtinti, kad atributo reikšmė yra teisinga, o tai būtų išsaugota išmaniajame kontrakte. Tokiu atveju, į blokų grandinę besikreipianti paslauga galėtų matyti, ar šis atributas yra verifikuotas. Panašus tvirtinimo mechanizmas nagrinėjamas [Baa16] tyrime.

6.2.3. Kaina

Blokų grandinės išmaniųjų kontraktų funkcijų kvietimai kainuoja pinigus. Pagal nutylėjimą, už funkcijos kvietimą sumoką kvietėjas. Naudojant 4 lentelėje pateiktas kainas, galima įvertinti preliminarį modelio naudojimo kainą „Ethereum“ blokų grandinėje. Vienkartinis kontraktų sukūrimo mokestis: 5,76€ (3,72 + 2,04). Daromos modelio naudojimo prielaidos:

- naudotojas per mėnesį pradeda naudotis 3-imis naujomis paslaugomis,
- naudotojas per mėnesį atmeta 5-ias paslaugų atributų užklausas,
- naudotojas per mėnesį pakeičia 3-is paslaugų prieigas,
- naudotojas per mėnesį pakeičia 1-o atributo reikšmę,
- paslaugai vidutiniškai reikia 5-ių atributų reikšmių,
- paslauga per mėnesį įgauna 500 naujų naudotojų.

Tuomet mėnesinė kaina naudotojui: $6,5\text{€} (3 \cdot 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,25)$. Mėnesinė kaina paslaugai: $300\text{€} (500 \cdot 5 \cdot 0,12)$. Kai naudotojas gali būti linkęs mokėti mėnesinį mokestį už didesnę tapatybės atributų kontrolę ir decentralizuotus asmens duomenis, išlieka klausimas, ar paslaugos tiekėjas sutiks mokėti naudojimosi kainą už jo naudotojams suteiktą didesnę kontrolę bei pašalintą poreikį pačiam saugoti atributus.

Vienas iš galimų sprendimų - kviečiant funkciją paslaugai, ją apmokėtų ne paslaugos tiekėjas, o pats išmanusis kontraktas. Kontrakto lėšas galima būtų pildyti iš mėnesinio naudotojų mokesčio. Tačiau, tokį mechanizmą turi palaikyti pasirinkta blokų grandinė, taikant jį reiktų apsisaugoti ir nuo galimų pavojingų pakartotinių kvietimų, kurie būtų skirti tik išiekvoti kontrakto lėšas. Kitas galimas būdas - mažinti saugomų duomenų kiekį pačioje blokų grandinėje (taip išmaniųjų kontraktų išlaikymo kainos taptų mažesnės) iškeliant atributų reikšmes į šalutinę grandinę (angl. *off-chain*).

6.3. Pritaikymo barjerai

Pagrindiniai sunkumai, kurie kiltų tokį modelį taikant praktikoje, yra galimas paslaugų ne-noras bendradarbiauti bei menka blokų grandinės technologijos branda.

Paslaugų tiekėjams, norint pradėti naudoti šį modelį savo paslaugose, reikia susikurti blokų grandinės paskyrą bei suintegruoti savo sistemas su blokų grandinės išmaniaisiais kontraktais bei atributų valdymo programa. Tai gali būti palengvinta sukuriant viešai prieinamą programinę įrangą, paruoštą naudoti paslaugų tiekėjams, tačiau paslaugų kūrėjai vis tiek turi nuspręsti naudoti šį modelį. Pagrindinė paskata jiems yra didesnis naudotojų pasitikėjimas suteikiant jiems galimybę kontroliuoti savo duomenis bei pagerintas asmens duomenų pasiekiamumas juos iškėlus į decentralizuotą blokų grandinę.

Blokų grandinė yra vis dar gana nauja technologija. Vieša blokų grandinė gali būti pažeista daugumos atakos, nemažai skeptikų teigia, kad pagrindinis technologijos panaudojimas išliks tik kriptovaliutoms, technologijos plečiamumas (angl. *scalability*) aktyviai tiriamas. Taip pat, 2016-aisiais metais išmaniojo kontrakto „The DAO“ trūkumą išnaudojusi ataka privertė „Ethereum“ blokų grandinę atlikti išsišakojimą (angl. *hard fork*), kuris pakeitė transakcijų istoriją ir grąžino įsilaužėlio pavogtą kriptovaliutą jos savininkams [Lei17]. Tai rodo, kad ypatingomis sąlygomis blokų grandinės nekintamumas gali būti pažeistas.

Nepaisant išvardytų priežasčių, technologijos populiarumas neblėsta. Blokų grandinės technologiją pradeda naudoti didžiosios kompanijos („Microsoft“ bei „IBM“ siūlo blokų grandinę kaip paslaugą [ZXD⁺17]). Taip pat, vis daugiau programuotojų kuria išmaniuosius kontraktus (darbo rašymo metu „Ethereum“ blokų grandinėje yra 25374 verifikuoti išmanieji kontraktai [Eth15b]).

Blokų grandinė dar nėra brandi, ilgai taikoma technologija. Ji aktyviai bandoma tiek startuolių, tiek korporacijų, vis dar intensyviai tiriama mokslininkų. Technologiją naudojančių programų sėkmė nulems, ar asmenys sutiks naudotis blokų grandine paremtomis programomis.

Rezultatai ir išvados

Darbe pasiekti **rezultatai**:

1. Apžvelgus internete naudojamus skaitmeninės tapatybės valdymo modelius, apibendrintos esminės naudotojams kylančios problemos: nepakankama asmens duomenų kontrolė, mažėjantis pasitikėjimas paslaugų gebėjimu saugiai valdyti asmens duomenis, didelė priklausomybė nuo tapatybės tiekėjų;
2. Pristačius blokų grandinės technologiją ir ją naudojančius skaitmeninės tapatybės projektus, nustatyta, kad decentralizuotas asmens duomenų saugojimas bei duomenų suteikimo taisyklių aprašymas išmaniuosiuose kontraktuose suteikia pagrindo naudoti blokų grandinę skaitmeninės tapatybės atributų valdymui;
3. Parengti reikalavimai skaitmeninės tapatybės atributų valdymo modeliui, akcentuojantys įvardytas naudotojų problemas;
4. Pagal iškeltus reikalavimus paruoštas blokų grandine paremtas tapatybės atributų valdymo modelis, suteikiantis naudotojui galimybę kontroliuoti savo asmens duomenis bei autorizuoti paslaugų prieigą prie jų;
5. Realizuoti pristatyto modelio atributų saugyklos bei paslaugų registro išmanieji kontraktai, parašyti „Solidity“ programavimo kalba „Ethereum“ blokų grandinei. Sukurtas atributų valdymo mobiliosios programėlės interaktyvus prototipas;
6. Įvertintas pristatytas atributų valdymo modelis. Įvardyti jo privalumai, trūkumai, galima eksploatavimo kaina bei pritaikymo barjerai.

Išanalizavus rezultatus gautos darbo **išvados**:

1. Blokų grandinės naudojimas tapatybės atributų valdyme suteikia šiuos pranašumus:
 1. Decentralizuotai saugant asmens duomenis, panaikinama priklausomybė nuo tapatybės tiekėjo;
 2. Viešuose, visiems prieinamuose išmaniuosiuose kontraktuose aprašius paslaugų autorizavimo logiką, naudotojas gali įsitikinti, kad jis geba kontroliuoti paslaugų turimas prieigas prie jo asmens duomenų;
 3. Dėl blokų grandinės įrašų ir išmaniųjų kontraktų kodo nekintamumo, asmuo gali būti tikras, kad laikui bėgant sąlygos nepasikeis ir naudotojo priimti autorizavimo sprendimai išliks.
2. Blokų grandinės naudojimas tapatybės atributų valdyme turi šiuos trūkumus:
 1. Decentralizuotas kodo vykdymas ir duomenų saugojimas išmaniuosiuose kontraktuose yra gana brangus;
 2. Norint naudotis modeliu, paslaugų tiekėjai yra priversti turėti papildomą integraciją su blokų grandine;
 3. Įmanoma viešos blokų grandinės tinklo daugumos ataka gali atgrasyti potencialius naudotojus.

3. Įvertinus nustatytus pranašumus bei trūkumus, galima teigti, kad blokų grandinę skaitmeninės tapatybės atributų valdymui verta naudoti tiems naudotojams, kuriems yra itin svarbi jų asmens duomenų kontrolė internete. Plačiau taikyti modelį vertėtų sumažinus eksploataavimo kainą bei patobulinus paslaugų atpažinimo procesą.

Tolimesni galimi darbai:

1. Siekiant sumažinti modelio eksploataavimo kainą, ištirti alternatyvas duomenų saugojimui ne blokų grandinėje. Pačioje grandinėje paliekant tik nuorodą į duomenų saugojimo vietą, modelio naudojimas taptų pigesnis;
2. Analizuoti paslaugų identifikavimo alternatyvas. Dabartinis būdas modelyje naudoti paslaugų registrą verčia paslaugų tiekėjus atlikti papildomą žingsnį. Taip pat, naudotojas turi pasikliauti atributų valdymo programos atliekamu paslaugos atpažinimu bei registracijos kodo generavimu;
3. Ištirti paslaugų tiekėjų galimybes naudoti modelį. Supažindinus paslaugų tiekėjus su atributų valdymo modeliu, atsižvelgti į jų nuomonę apie galimą naudojimą bei siūlomus patobulinius.

Šaltiniai

- [Ant14] Andreas M. Antonopoulos. Mastering bitcoin: unlocking digital cryptocurrencies. O'Reilly Media, Inc., Sebastopol, 2014, p. 272. ISBN: 1449374042.
- [ASN⁺17] Muneeb Ali, Ryan Shea, Jude Nelson ir Michael J Freedman. Blockstack Technical Whitepaper, 2017. URL: <https://blockstack.org/whitepaper.pdf> (žiūrėta 2018-05-09).
- [Baa16] Djuri Baars. Towards Self-Sovereign Identity using Blockchain Technology, 2016. URL: http://essay.utwente.nl/71274/1/Baars_MA_BMS.pdf.
- [Bar07] Jaume Barcelo. User Privacy in the Public Bitcoin Blockchain. Journal of Latex Class Files, 6(1), 2007.
- [Bit16] Bitcoin Wiki. Segregated Witness, 2016. URL: https://en.bitcoin.it/wiki/Segregated_Witness (žiūrėta 2018-05-02).
- [But15a] Vitalik Buterin. On Public and Private Blockchains, 2015. URL: <https://blog.ethereum.org/2015/08/07/on-public-and-private-blockchains/> (žiūrėta 2018-05-02).
- [But15b] Vitalik Buterin. Understanding Serenity, Part I: Abstraction - Ethereum Blog, 2015. URL: <https://blog.ethereum.org/2015/12/24/understanding-serenity-part-i-abstraction/> (žiūrėta 2018-05-19).
- [Cam04] L.J. Camp. Digital Identity. IEEE Technology and Society Magazine, 23(3):34–41, 2004.
- [CY10] Yuan Cao Yuan Cao ir Lin Yang Lin Yang. A survey of Identity Management technology. 2010 IEEE International Conference on Information Theory and Information Security, p. 287–293, 2010. ISBN: 9781424469437.
- [CK01] S Clauß ir M Køhntopp. Identity Management and its Support of Multilateral Security. Computer Networks, 37 (2):205–219, 2001.
- [Con18] Consensys. UPort webpage, 2018. URL: <https://www.uport.me> (žiūrėta 2018-05-09).
- [DD08] Rachna Dhamija ir Lisa Dusseault. The Seven Flaws of Identity Management: Usability and Security Challenges. IEEE Security & Privacy Magazine, 6(2):24–29, 2008.
- [DP08] M. Dabrowski ir P. Pacyna. Generic and Complete Three-Level Identity Management Model. 2008 Second International Conference on Emerging Security Information, Systems and Technologies:232–237, 2008.
- [Eth15a] Ethereum Foundation. Ethereum White Paper, 2015. URL: <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper> (žiūrėta 2018-03-25).
- [Eth15b] Etherscan. Verified Source Codes of Ethereum Contracts, 2015. URL: <https://etherscan.io/contractsVerified> (žiūrėta 2018-05-08).

- [Eth16] Ethereum Foundation. Solidity Documentation, 2016. URL: <https://solidity.readthedocs.io/en/v0.4.23/>.
- [Eth17] Ethereum Gas Station. ETH Gas Station Transaction Calculator, 2017. URL: <https://ethgasstation.info/calculatorTxV.php> (žiūrėta 2018-05-20).
- [FH07] Dinei Florencio ir Cormac Herley. A large-scale study of web password habits. Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web - WWW '07, p. 657–685, New York, USA. ACM Press, 2007.
- [GC07] Benjamin M. Gross ir Elizabeth F. Churchill. Addressing Constraints: Multiple Usernames, Task Spillage and Notions of Identity. CHI '07 extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI '07, p. 2393–2398. ACM Press, 2007.
- [Gra18] Kevin Granville. Facebook and Cambridge Analytica: What You Need to Know as Fallout Widens, 2018. URL: <https://www.nytimes.com/2018/03/19/technology/facebook-cambridge-analytica-explained.html> (žiūrėta 2018-03-28).
- [GV09] Uwe Glässer ir Mona Vajihollahi. Identity Management Architecture. Annals of Information Systems, 9:97–116, 2009.
- [Hos17] Adam Hose. Rolling your own Proof-of-Authority Ethereum consortium, 2017. URL: <http://blog.enuma.io/update/2017/08/29/proof-of-authority-ethereum-networks.html> (žiūrėta 2018-05-01).
- [JP05] Audun Jøsang ir Simon Pope. User Centric Identity Management. AusCERT Conference, p. 1–13, 2005.
- [Kou17] Sherif Koussa. Differentiating Federated Identities: OpenID Connect, SAML v2.0, and OAuth 2.0, 2017. URL: <https://www.softwaresecured.com/differentiating-federated-identities-openid-connect-saml-v2-0-and-oauth-2-0/> (žiūrėta 2018-04-22).
- [Kuk11] Ado Kukic. Definitive guide to Single Sign-On (SSO), 2011. URL: <https://resources.auth0.com/definitive-guide-to-single-sign-on/> (žiūrėta 2018-04-03).
- [LAB⁺17] Wenting Li, Sébastien Andreina, Jens-Matthias Bohli ir Ghassan Karame. Securing Proof-of-Stake Blockchain Protocols. Data Privacy Management, Cryptocurrencies and Blockchain Technology, p. 297–315. Springer International Publishing, 2017.
- [Lei17] Matthew Leising. The Ether Thief, 2017. URL: <https://www.bloomberg.com/features/2017-the-ether-thief/> (žiūrėta 2018-05-08).
- [LXC⁺17] Sin Kuang Lo, Xiwei Xu, Yin Kia Chiam ir Qinghua Lu. Evaluating Suitability of Applying Blockchain. 2017 22nd International Conference on Engineering of Complex Computer Systems (ICECCS), p. 158–161, 2017.
- [Min18] Miniwatts Marketing Group. World Internet Users Statistics, 2018. URL: <https://www.internetworldstats.com/stats.htm> (žiūrėta 2018-03-28).

- [MM17] Jason Mander ir Felim McGrath. Global Web Index Social, 2017. URL: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/304927/Downloads/GWI%20Social%20Summary%20Q3%202017.pdf>.
- [MR08] E Maler ir D Reed. The Venn of Identity: Options and Issues in Federated Identity Management. IEEE Security and Privacy, 6(2):16–23, 2008.
- [Nak08] Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008.
- [PM03] Andreas Pashalidis ir Chris J. Mitchell. A taxonomy of single sign-on systems. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), tom. 2727 LNCS, p. 249–264, 2003.
- [Ral14] Raluca Budi. Login Walls Stop Users in Their Tracks, 2014. URL: <https://www.nngroup.com/articles/login-walls/> (žiūrėta 2017-06-10).
- [Res12] Blue Research. Research Reveals Consumers Increasingly Interested In Social Login To Alleviate Online Registration Headaches | Janrain, 2012. URL: <http://www.janrain.com/about/newsroom/press-releases/research-reveals-consumers-increasingly-interested-social-login/> (žiūrėta 2017-05-27).
- [Sam99] Vipin Samar. Single sign-on using cookies for Web applications. Proceedings IEEE 8th International Workshops on Enabling Technologies Infrastructure for Collaborative Enterprises WET ICE99, p. 158–163, 1999.
- [SB12] San-Tsai Sun ir Konstantin Beznosov. The Devil is in the (Implementation) Details: An Empirical Analysis of OAuth SSO Systems. Proceedings of the 2012 ACM conference on Computer and communications security, p. 378–390, 2012.
- [Sed18] Kai Sedgwick. Verge Is Forced to Fork After Suffering a 51% Attack - Bitcoin News, 2018. URL: <https://news.bitcoin.com/verge-is-forced-to-fork-after-suffering-a-51-attack/> (žiūrėta 2018-05-02).
- [SPM⁺11] San-Tsai Sun, Eric Pospisil, Ildar Muslukhov, Nuray Dindar, Kirstie Hawkey ir Konstantin Beznosov. What makes users refuse web single sign-on? Proceedings of the Seventh Symposium on Usable Privacy and Security - SOUPS '11, p. 1–20, 2011.
- [SSH⁺11] C. Satchell, G. Shanks, S. Howard ir J. Murphy. Identity crisis: user perspectives on multiplicity and control in federated identity management. Behaviour & Information Technology, 30(1):51–62, 2011.
- [Sza97] Nick Szabo. Nick Szabo – The Idea of Smart Contracts, 1997. URL: <http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/L0Twinterschool2006/szabo.best.vwh.net/idea.html> (žiūrėta 2018-05-04).
- [Ten17] Tendermint. Tendermint - Blockchain Consensus, 2017. URL: <https://tendermint.com/> (žiūrėta 2018-05-02).
- [VW14] Pamela Vagata ir Kevin Wilfong. Scaling the Facebook data warehouse to 300 PB, 2014. URL: <https://code.facebook.com/posts/229861827208629/scaling-the-facebook-data-warehouse-to-300-pb/> (žiūrėta 2018-05-03).

- [ZNP15] Guy Zyskind, Oz Nathan ir Alex 'Sandy' Pentland. Decentralizing Privacy: Using Blockchain to Protect Personal Data. 2015 IEEE Security and Privacy Workshops:180–184, 2015-05.
- [ZXD⁺17] Zibin Zheng, Shaoan Xie, Hongning Dai, Xiangping Chen ir Huaimin Wang. Blockchain Challenges and Opportunities : A Survey. International Journal of Web and Grid Services:1–26, 2017.

Sąvokų apibrėžimai

Adresas - blokų grandinės kontekste tai unikalus identifikatorius, nurodantis blokų grandinės paskyrą. Paskyra gali būti asmens arba išmaniojo kontrakto.

Atpažinimo duomenys (angl. *credentials*) - tai duomenys, skirti asmens autentifikavimui. Jie gali būti asmens atributai (pvz. biometriniai duomenys, tokie kaip pirštų antspaudai ar balsas) ar sugalvota informacija (pvz. slaptyvardis ir slaptažodis). Dažniausiai internete naudojami atpažinimo duomenys yra identifikatoriaus (slapyvardžio ar el. pašto) ir slaptažodžio pora [MR08].

Atributas - charakteristika, susieta su esybe (pvz. fiziniu asmeniu). Galimi fizinio asmens atributai: gimimo data, vardas, ūgis, pirštų antspaudai [Cam04]. Atributas gali būti laikinas (pvz. adresas) arba nuolatinis (pvz. asmens kodas).

Autentifikavimas - tai procesas, kurio metu patvirtinama sąsaja tarp tapatybės ir jos identifikatoriaus (t.y., įrodoma, kad asmuo iš tikrųjų yra tas, kas sakosi esąs) [Cam04; Kuk11]. Šiam patvirtinimui naudojami atpažinimo duomenys. Autentifikavimo pavyzdys: *tavo pateiktas slaptyvardis ir slaptažodis patvirtina, kad tu esi Jonas Jonaitis*.

Autorizavimas - tai procesas, kurio metu leidžiama arba draudžiama asmeniui atlikti konkretų veiksmą, priklausomai nuo jo identifikatoriaus ar atributo [Cam04]. Pavyzdys: *kadangi tau yra daugiau nei 18 metų, tu gali nusipirkti energetinį gėrimą*.

Identifikatorius - tai atributas, kuris vienareikšmiškai susiejamas su jį pateikiančiu asmeniu ir kurį sunku arba neįmanoma pakeisti. Fizinio asmens identifikatoriaus pavyzdys galėtų būti gimimo data (žmogus gali apie ją meluoti, tačiau gimimo datos pakeisti neįmanoma) [Cam04]. Skaitmeninio identifikatoriaus pavyzdys yra naudotojo elektroninio pašto adresas.

Identifikavimas - tai procesas, kurio metu asmuo susiejamas su jo identifikatoriumi [Cam04]. Identifikavimo pavyzdys yra asmens ir jo vardo susiejimas: *tu esi Jonas Jonaitis*.

Paslaugų tiekėjas (angl. *service provider*) - tai betkokia taikomoji programa, kuri suteikia naudotojui tam tikrą paslaugą ar norimą turinį. Galimi paslaugų tiekėjai yra interneto tinklapiai, susirašinėjimo programos ar kitos taikomosios programos, į kurias kreipiasi naudotojas [PM03; Sam99]. Paslaugų tiekėjas gali turėti vieną ar kelias paslaugas, kurioms reikia tapatybės valdymo funkcijų. Darbe paslaugų tiekėjas dar gali būti vadinamas pasikliaujančiąja šalimi (angl. *relying party*).

Skaitmeninė tapatybė - abstrakti fizinės esybės reprezentacija, sudaryta iš aibės esybės nuolatinių ar laikinų atributų, kurie susiejami su fizine esybe [Cam04; GV09]. Fizinė esybė gali būti fizinis arba juridinis asmuo.

Skaitmeninės tapatybės valdymas (angl. *digital identity management*) - tai veiksmų, skirtų kontroliuoti tapatybę ir su ja susijusius procesus, visuma [DP08]. Į tai įeina autentifikavimas, autorizavimas, prieigų kontrolė, tapatybės gyvavimo ciklo valdymas bei saugus tapatybės atributų perdavimas trečiosioms šalims [CY10].

Tapatybės tiekėjas (angl. *identity provider*) - servisas ar taikomoji programa, skirta koordinuoti su tapatybe susijusius duomenis tarp naudotojų, jų naršyklių bei paslaugų tiekėjų [Kuk11]. Pagrindinės tapatybės tiekėjo funkcijos: infrastruktūros naudotojų tapatybės duomenims apdoroti sukūrimas ir užklausų iš paslaugų tiekėjų bei naudotojų apdorojimas [CY10].

Priedas nr. 1

Atributų saugyklos išmanusis kontraktas

```
1 pragma solidity ^0.4.23;
2
3 contract UserAttributeStore {
4     struct ServiceAttribute {
5         bool accessGranted;
6         string value;
7     }
8     mapping (address => mapping(uint => mapping(address => ServiceAttribute)))
9     private attributes;
10
11     event AccessRequested (
12         address userAddress ,
13         address serviceAddress ,
14         uint attributeId
15     );
16     event AccessChanged (
17         address userAddress ,
18         address serviceAddress ,
19         uint attributeId ,
20         bool status
21     );
22
23     function grantAccess(uint attributeId , address serviceAddress , string
24     value) public {
25         changeAccess(attributeId , serviceAddress , true , value);
26     }
27
28     function removeAccess(uint attributeId , address serviceAddress) public {
29         changeAccess(attributeId , serviceAddress , false , "X");
30     }
31
32     function changeAccess(uint attributeId , address serviceAddress , bool
33     granted , string value) private {
34         attributes[msg.sender][attributeId][serviceAddress].accessGranted =
35         granted;
36         attributes[msg.sender][attributeId][serviceAddress].value = value;
37         emit AccessChanged(msg.sender , serviceAddress , attributeId , granted);
38     }
39
40     function requestAccess(uint attributeId , address userAddress) public {
41         emit AccessRequested(userAddress , msg.sender , attributeId);
42     }
43
44     function getAttribute(uint attributeId , address userAddress , address
45     serviceAddress)
```

```

41     public
42     view
43     returns (string)
44     {
45         if (msg.sender == userAddress) {
46             return attributes[msg.sender][attributeId][serviceAddress].value;
47         }
48         //to avoid additional 'initialized' property, length check used
49         if (bytes(attributes[userAddress][attributeId][serviceAddress].value).
length == 0) {
50             return "Please request access first";
51         } else {
52             if (attributes[userAddress][attributeId][serviceAddress].
accessGranted) {
53                 return attributes[userAddress][attributeId][serviceAddress].
value;
54             } else {
55                 return "Access denied";
56             }
57         }
58     }
59 }

```

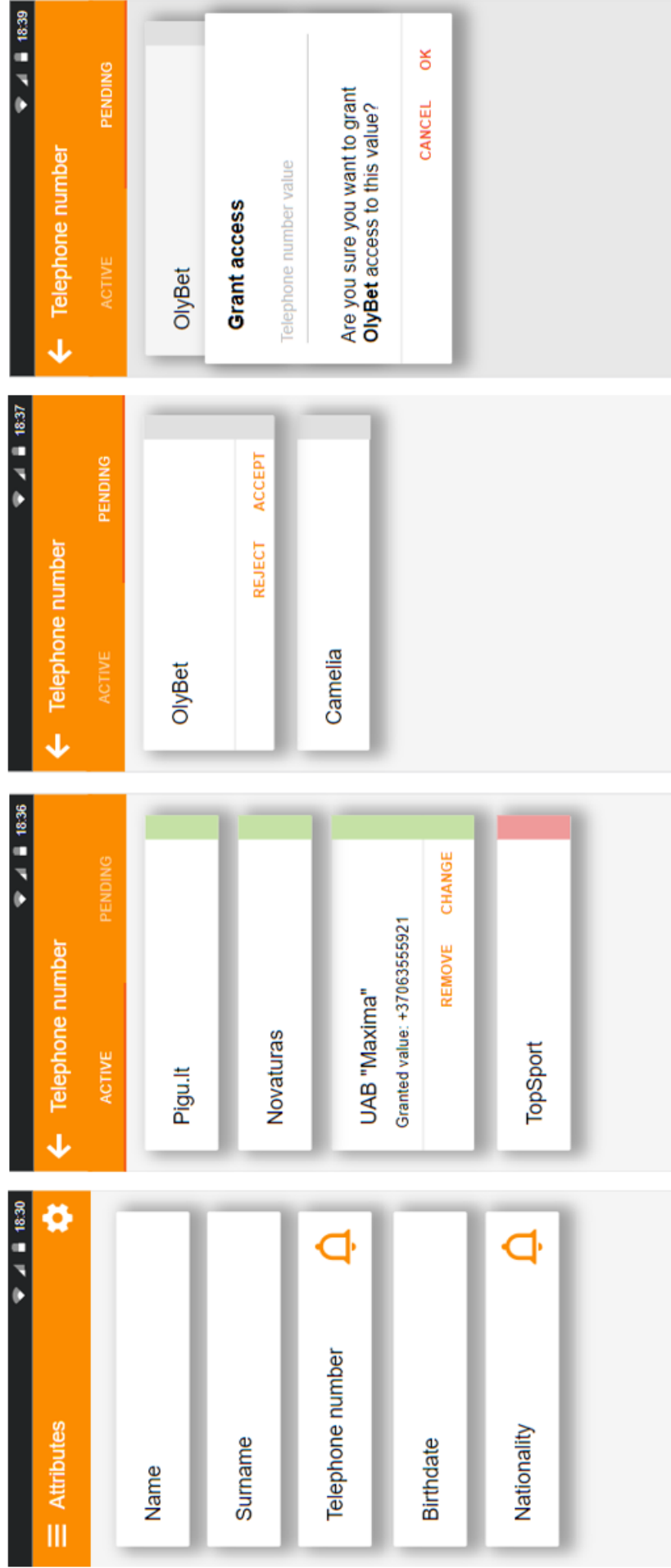
Priedas nr. 2

Paslaugų registro išmanusis kontraktas

```
1 pragma solidity ^0.4.23;
2
3 contract ServiceRegister {
4
5     struct Service {
6         string registrationCode;
7         string name;
8     }
9     mapping (address => Service) private services;
10
11     function register(string registrationCode , string name) public {
12         services[msg.sender].registrationCode = registrationCode;
13         services[msg.sender].name = name;
14     }
15
16     function getService(address serviceAddress) public view returns (string ,
17 string) {
18         return (services[serviceAddress].registrationCode , services[
19 serviceAddress ].name);
20     }
21 }
```


Priedas nr. 3

Atributų valdymo mobiliosios programėlės interaktyvus prototipo langai



12 pav. Atributų valdymo mobiliosios programėlės interaktyvus prototipo langai