



دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر

ارائه‌ی یک روش رای‌گیری امن مبتنی بر بلاک‌چین

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر
گرایش نرم‌افزار

نگارش

شروین حاجی‌اسمعیلی

استاد راهنما

دکتر مقصود عباس‌پور

تابستان ۹۷



دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر - گرایش نرم افزار
تحت عنوان:

ارائه ی یک روش رای گیری امن مبتنی بر بلاک چین

در تاریخ پایان نامه دانشجو، ، توسط کمیته تخصصی داوران مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

امضا	نام و نام خانوادگی	۱- استاد راهنما اول:
امضا (در صورت نیاز)	نام و نام خانوادگی	۲- استاد راهنما دوم:
امضا (در صورت نیاز)	نام و نام خانوادگی	۳- استاد مشاور:
امضا	نام و نام خانوادگی	۴- استاد داور (داخلی):
امضا	نام و نام خانوادگی	۵- استاد داور (خارجی):
امضا	نام و نام خانوادگی	۶- نماینده تحصیلات تکمیلی:

با سپاس و قدردانی از

پدران و مادرانی که خود را فدای تربیت فرزندان خود کردند و
اساتید و معلمانی که در تمام دوران زندگی، راهنمای جانسوز ما بودند.

آوردن این صفحه اختیاریست.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه شهید بهشتی
می‌باشد.

به نام خدا

نام و نام خانوادگی: شروین حاجی اسمعیلی

عنوان پایان نامه: ارائه‌ی یک روش رای‌گیری امن مبتنی بر بلاک چین

استاد راهنما: دکتر مقصود عباس پور

اینجانب شروین حاجی اسمعیلی تهیه‌کننده پایان‌نامه کارشناسی ارشد حاضر، خود را ملزم به حفظ امانت‌داری و قدردانی از زحمات سایر محققین و نویسندگان بنابر قانون Copyright می‌دانم. بدین وسیله اعلام می‌نمایم که مسئولیت کلیه مطالب درج شده با اینجانب می‌باشد و در صورت استفاده از اشکال، جداول و مطالب سایر منابع، بلافاصله مرجع آن ذکر شده و سایر مطالب از کار تحقیقاتی اینجانب استخراج گشته است و امانت‌داری را به صورت کامل رعایت نموده‌ام. در صورتی که خلاف این مطلب ثابت شود، مسئولیت کلیه عواقب قانونی با شخص اینجانب می‌باشد.

نام و نام خانوادگی: شروین حاجی اسمعیلی

تاریخ و امضا:

تقدیم به

رهجویان علم و فناوری و دوستداران علم و دانش

آوردن این صفحه اختیاریست.

فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱
۲	۱.۱ فرایند رای گیری ایده آل	۲
۲	۲.۱ سیستم های رای گیری سنتی	۲
۳	۳.۱ مشکلات و چالش های رای گیری الکترونیک	۳
۵	۴.۱ انگیزه و هدف	۵
۷	۲ تعریف مفاهیم	۷
۸	۱.۲ بلاک چین	۸
۸	۲.۲ درخت مرکب	۸
۹	۱.۲.۲ انواع بلاک چین	۹
۱۰	۳.۲ اثبات های بی دانش	۱۰
۱۰	۱.۳.۲ مثال شهودی	۱۰
۱۱	۲.۳.۲ اثبات های بی دانش بدون تعامل	۱۱
۱۱	ZK-SNARK	۱۱
۱۳	ZK-STARK	۱۳
۱۴	۳ کارهای پیشین	۱۴
۱۵	۱.۳ اعتماد	۱۵

۱۵	توافق	۱.۱.۳
۱۵	توافق	
۱۶	اثبات سهم	
۱۶	Protocol Consensus Ripple	
۱۶	Protocol Consensus Stellar	
۱۷	کاربردهای بلاک چین	۲.۱.۳
۱۷	ارز دیجیتال	
۱۸	سازمان‌های توزیع‌شده‌ی خودکار	۳.۱.۳
۱۹	شناسایی	۴.۱.۳
۲۰	NotYetAdded	۴
۲۴	مروری بر پژوهش‌های مرتبط	۵
۲۵	امنیت بلاک چین و ماین کردن	۱.۵
۲۶	امنیت قراردادهای اتریوم	۲.۵
۲۷	حریم خصوصی	۳.۵
۲۸	طرح مسئله	۶
۳۱	مراجع	

فهرست تصاویر

۹	یک درخت مرکب	۱.۲
۱۲	یک نمونه مدار محاسباتی	۲.۲

فهرست جداول

۱.۲	نمونه‌ای جدول	۹
-----	---------------	---

چکیده

از سال ۲۰۰۹ تاکنون، با فراگیری بیت کوین شاهد افزایش کاربردهای بلاک چین و سیستم‌های توزیع شده و بدون نیاز به اعتماد بوده‌ایم. بعد از انتشار بستر اتریوم تا به امروز قراردادهای هوشمند توزیع شده در این بستر رشد قابل توجهی داشته‌اند. به همین دلیل بررسی امنیتی قراردادهای این بستر اهمیت ویژه‌ای دارد. همچنین با ساخت این بستر فرصت مناسبی است تا سرویس‌های بیشمار مبتنی بر اعتماد فعلی خود و راه‌های جایگزین آن‌ها را در بستر بلاک چین بررسی کنیم.

در این تحقیق ابتدا به معرفی ارزشهای دیجیتال و نحوه‌ی کارکرد آن‌ها می‌پردازیم، سپس تحقیقات امنیتی خود بسترها و کاربردهای آن‌ها را بررسی کرده و در نهایت به کاربرد آن‌ها برای رای‌گیری دیجیتال و چالش‌های این کار اشاره خواهیم کرد.

واژگان کلیدی: بلاک چین، اتریوم، امنیت، قرارداد هوشمند، رای‌گیری

فصل ۱

مقدمه

امنیت در رای گیری همواره یک مسئله پیچیده بوده است که نیازمند یک فرد قابل اعتماد برای برگزاری و یک پروتکل امن برای جلوگیری از تقلب یا اشتباه در فرایند آن است. سیستم های رای گیری الکترونیک از سال ۱۹۶۰ وجود داشتند و اولین استفاده بزرگ از آن ها در چند ایالت آمریکا در سال ۱۹۶۴ برای انتخابات ریاست جمهوری بود. رای گیری الکترونیک به سادگی می تواند هزینه برگزاری انتخابات را از طریق سادگی شمارش کاهش دهد.

۱.۱ فرایند رای گیری ایده آل

شروط فرایند رای گیری ایده آل عبارت است از:

- هر فرد واجد شرایط دقیقاً یک بار بتواند رای دهد.
- هیچ کسی نتواند به جای فرد دیگری رای دهد.
- هیچ فردی مجبور به رای دادن نشود.
- هیچ فردی مجبور به رای دادن به کاندیدای خاصی نشود.
- از شمارش هر رای اطمینان حاصل شود.
- نتیجه ی آرا ناشناس باقی بماند.
- بسته به نیاز بتوان نتایج لحظه ای انتخابات را (بدون آسیب به شرط های قبلی) دید.

۲.۱ سیستم های رای گیری سنتی

در رای گیری غیر الکترونیکی معمولاً فرایند به شکل زیر است:

فرد برای رای دادن به یکی از حوزه های رای گیری مراجعه کرده و با ارائه ی مدارک شناسایی خود یک برگه ی رای دریافت می کند. برگه رای دارای دو بخش است: قسمتی که برای ردیابی با اطلاعات شخصی فرد پر می شود و یک قسمت بی نام که فرد کاندیدای مورد نظر خود را در آن ثبت کرده و در یک صندوق می اندازد.

با بررسی مدارک شناسایی، شرط دوم فرایند رای گیری ایده آل تایید شده و با ثبت شدن اطلاعات فرد به عنوان یک رای دهنده از رای دادن دوباره ای او جلوگیری می شود. امنیت شخصی افراد در حوزه توسط برگزارکننده ای انتخابات تامین می شود و با وجود گزینه ی «رای سفید» فردی مجبور به رای دادن و یا رای دادن به یک کاندیدای خاص نمی شود.

با وجود یک صندوق برای چندین رای و نبودن هیچ نشانه ی شناسایی در آرا، هیچ راهی برای فهمیدن رای یک فرد خاص - حتی اگر برگه های رای به دست رقیب بیفتد - وجود ندارد.

احراز هویت و شمارش رای ها به عهده ی برگزارکننده ی انتخابات است و تنها از طریق یک شخص ثالث برای بازشماری آرا می توان از اجرای درست آن ها اطمینان حاصل کرد.

با توجه به هزینه ی زیاد شمارش در انتخابات های بزرگ راهی برای اعلام لحظه ای نتایج با هزینه ی معقول وجود ندارد.

همانطور که می بینیم در روش های فعلی انتخابات بسیاری از شرایط مورد نیاز یک انتخابات خوب با هزینه ی نسبتاً زیاد فراهم می شود. از دیگر مشکلات انتخابات به این روش می توان به نیازمندی به یک برگزارکننده ی مورد اعتماد اشاره کرد. باید به برگزارکننده اعتماد شود تا:

۱. امنیت حوزه ی انتخابات را تامین کند.

۲. افراد را به درستی احراز هویت کند.

۳. همه ی رای ها را بشمارد.

۴. تغییری در رای ها ندهد.

۳.۱ مشکلات و چالش های رای گیری الکترونیک

دو مسئله ی اساسی در یک سیستم رای گیری امنیت و حریم خصوصی است. مخالفین رای گیری الکترونیک از کم هزینه بودن تقلب و تغییر رای های ثبت شده در انتخابات الکترونیکی می گویند و رد کاغذی در یک انتخابات را یک فاکتور مهم برای امنیت آن می دانند. هزینه تغییر میلیون ها رای در یک سیستم کامپیوتری بسیار پایین تر از

تولید چند میلیون رای کاغذی تقلبی برای تغییر نتیجه‌ی یک انتخابات است.

بزرگترین مسئله در به کارگیری رای گیری الکترونیک مسئله‌ی اعتماد به یک سیستم کامپیوتری است. از نظر بسیاری از رای دهندگان رای دادن با کامپیوتر شخصی می‌تواند ریسک تغییر رای تا رسیدن آن به سرورهای رای گیری ایجاد کند. از طرف دیگر عدم امکان بررسی و تایید انسانی عملیات کامپیوتر، حس امنیت کمتری القا می‌کند.

مسئله‌ی دیگر پرهزینه بودن ساخت زیرساخت‌های رای گیری الکترونیک و خطر پیدایش مشکلات امنیتی در هر سیستم کامپیوتری - چه از نظر نرم افزار و چه سخت افزار - است. این مشکل باعث شده تعدادی از کشورها از جمله هلند، ایرلند و آلمان فرایند ایجاد زیرساخت لازم را شروع کرده و در ادامه این فرایند را ملقی کنند. دلیل اصلی اعلام شده برای این مسائل قابل اتکا نبودن سیستم‌های رای گیری الکترونیکی اعلام شده است.

برای مثال یک تحقیق معروف از دانشگاه NYU در سال ۲۰۱۵^۱ توضیح داد که ماشین‌های رای گیری الکترونیکی که در ۴۳ ایالت آمریکا استفاده می‌شوند در سال ۲۰۱۶ به دهمین سال استفاده شدن می‌رسند و به دلیل نداشتن بودجه‌ی کافی برای تعمیرات و بروزرسانی، در معرض خطر کرش^۲ کردن هستند که می‌تواند باعث کندی فرایند و حتی گاهی از دست رفتن رای‌های مردم شود. علاوه بر این، قدیمی بودن دستگاه‌ها می‌تواند ریسک‌های امنیتی ایجاد کند.

یک مشکل دیگر در پیاده‌سازی‌های بسیاری از رای گیری الکترونیک، نیاز به اینترنت و توانایی استفاده از کامپیوتر است. این مسئله می‌تواند دسترسی بسیاری از افرادی واجد شرایط را - به دلیل نقص جسمی و یا عدم توانایی کار با کامپیوتر - محدود کند. در سیستم‌های فعلی که مبتنی بر حوزه‌های رای گیری هستند می‌توانند با کمک انسانی در خود حوزه تا حدی این مشکلات را رفع کنند.

مشکلات مطرح شده موانع بزرگی برای فراگیری سیستم‌های رای گیری کاملاً الکترونیکی برای انتخابات‌های مهم و بزرگ هستند که یک سیستم رای گیری مناسب باید آن‌ها را تا جای ممکن رفع کند.

^۱ <https://www.brennancenter.org/publication/americas-voting-machines-risk>

^۲ crash

۴.۱ انگیزه و هدف

هدف این تحقیق، طراحی یک سیستم رای گیری الکترونیک است که شرایط رای گیری ایده آل را تا جای ممکن بدون نیاز به اعتماد به شخص ثالث ایفا کند. با فراگیری تکنولوژی بلاک چین برای ایجاد سیستم های توزیع شده بدون نیاز به اعتماد (برای مثال بیت کوین به عنوان یک ارز دیجیتال بدون نیاز به اعتماد)، پلتفرم هایی برای رای گیری الکترونیک ایجاد شدند که امنیت شمارش آرا را با عمومی ساختن فرایند رای گیری تامین می کردند. با وجودی که راه حل ارائه شده ی این سیستم ها مسئله ی اطمینان از شمارش رای ها را حل می کرد، مسئله ی حریم شخصی در این روش ها حل نشده است و انتخابات های برگزار شده با این سیستم ها امنیت کمتری در قبال ناشناس ماندن رای ها ارائه می کنند.

برای مثال حالتی را فرض کنید که یک رای دهنده تهدید می شود که باید به یک کاندیدای خاص رای بدهد، در سیستم های سنتی رای گیری به دلیل بی نام بودن برگه های رای بعد از اتمام فرایند رای گیری راهی برای اطمینان حاصل کردن از نتیجه ی رای فرد نیست. از طرفی به دلیل امنیت حوزه های رای گیری راهی برای اطمینان از نتیجه ی رای یک نفر در حین فرایند رای گیری هم نیست. پس راهی برای محبور کردن یک نفر که به یک کاندیدای خاص رای بدهد وجود ندارد. اما در سیستم های مبتنی بر بلاک چین هر رای داده شده به امضای الکترونیکی فرد امضا شده است و این موضوع می تواند با عمومی شدن بلاک چین بعد از رای گیری باعث لو رفتن نتیجه ی رای آن فرد شود.

این مشکلات مانع بزرگی برای استفاده ی فراگیر این سیستم ها خواهد بود. هدف ما در این تحقیق ارائه امنیت و هزینه ی کم ناشی از استفاده از این روش های رای گیری، بدون ایجاد ریسک های جدید در حریم خصوصی رای دهندگان است.

نتیجه ی این تحقیق یک سیستم رای گیری الکترونیک است که قیاس با سیستم های سنتی انتخابات هزینه ها را کاهش خواهد داد. در عین حال کمترین تغییر برای رای دهندگان خواهد داشت که باعث افزایش دسترس پذیری این سیستم خواهد شد. همچنین تمامی آرا رای دهندگان در قبال یک مهاجم خارجی و حتی خود برگزار کننده ی انتخابات ناشناس خواهند ماند.

از طرفی این سیستم یک رد الکترونیک غیرقابل انکار از تمام آرا، در قبال یک بلاک چین، ارائه خواهد کرد که

توانایی اثبات درستی شمارش را برای شخص ثالث بدون ایجاد خطری برای ناشناسی رای‌ها خواهد داد. تمامی این قابلیت‌ها بدون نیاز اعتماد به برگزارکننده‌ی انتخابات خواهد بود و هرگونه تخطی از پروتکل ارائه شده توسط حوزه‌های رای‌گیری قابل ردیابی از طریق اطلاعات ثبت شده در بلاک‌چین خواهد بود.

فصل ۲

تعريف مفاهيم

در این بخش به معرفی بعضی مفاهیم پایه برای این تحقیق می‌پردازیم. در ابتدا با مفاهیم بلاک چین و انواع و کاربردهای آن آشنا می‌شویم و در ادامه به بررسی اثبات‌های بی‌دانش می‌پردازیم. این دو تکنولوژی ابزارهای تئوری لازم برای ساخت سیستم رای‌گیری امن خواهند بود.

۱.۲ بلاک چین

بلاک چین ساختمان داده ایست که به مانند لینک لیست^۱ از بلوک‌های متوالی تشکیل شده ولی در بلاک چین هر بلوک هش^۲ عنصر قبلی خود را نیز نگه می‌دارد. هدف از این کار ساخت یک ساختار داده‌ی صرفاً افزایشی^۳ است که در آن بلوک‌های قبلی تغییرناپذیرند. تغییر هر بلوک باعث تغییر بلوک بعدی خواهد شد و این موضوع تشخیص تغییر در بلوک‌های پیشین را بسیار ساده می‌کند.

۲.۲ درخت مرکل

برای پیاده‌سازی یک بلاک چین معمولاً از درخت مرکل^۴ استفاده می‌شود. درخت مرکل یا درخت هش، نوعی درخت دودویی^۵ است که در آن هر راس هش فرزندان خود را نگه داشته و برگ‌ها هش داده‌ی ذخیره شده در خودشان را نگه می‌دارند. این روش نگه‌داری اطلاعات باعث می‌شود که درچه‌ی زمانی بررسی وجود یک بلوک داده در بلاک چین از N به $\log N$ کاهش یابد. به دلیل این نوع ساختار یک درخت مرکل، هر تغییری در درخت باعث تغییر هش در ریشه‌ی آن خواهد شد و به دلیل رندم بودن خروجی یک هش خوب، هش ریشه‌ی درخت مرکل هیچ ویژگی قابل پیشبینی ندارد.

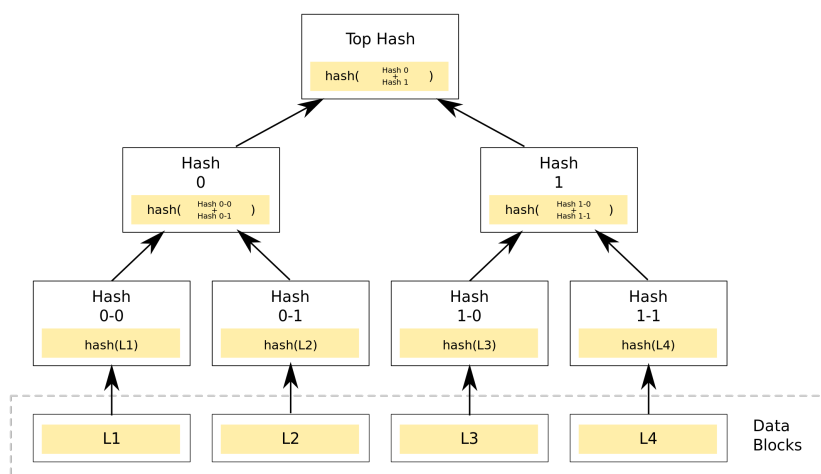
^۱ Linked list

^۲ Hash

^۳ Append only

^۴ Merkle tree

^۵ Binary tree



شکل ۱.۲: یک درخت مرکل

۱.۲.۲ انواع بلاک چین

در این تحقیق بلاک چین‌ها را از دو نظر دسته‌بندی می‌کنیم. بلاک چین‌ها می‌توانند عمومی یا خصوصی باشند، در بلاک چین‌های عمومی اضافه کردن بلوک به بلاک چین دسترسی خاصی نمی‌خواهد و هر کسی می‌تواند در آن‌ها بنویسد ولی در بلاک چین‌های خصوصی اضافه کردن بلوک صرفاً توسط افراد خاص ممکن است. روش دیگر تقسیم‌بندی ما باز یا بسته بودن بلاک چین است که این دسته‌بندی در مورد دسترسی خواندن اطلاعات از بلاک چین است. در بلاک چین‌های بسته خواندن اطلاعات توسط عموم آزاد نیست و در بلاک چین‌های خصوصی تمام اطلاعات بلاک چین برای خواندن، در دسترس عموم است. با توجه به کاربرد بلاک چین مورد نظر هر بلاک چین می‌تواند در هر کدام از این دسته‌بندی‌ها قرار بگیرد، جدول ۱.۲ یک کاربرد ممکن برای هر کدام از این دسته‌بندی‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱.۲: نمونه‌ای جدول

بسته	باز	
بعضی رای‌گیری‌ها	ارزهای دیجیتال	عمومی
اطلاعات خصوصی یک شرکت	سامانه‌ی مدیریت اطلاعات مالیات	خصوصی

۳.۲ اثبات‌های بی‌دانش

اثبات بی‌دانش^۱ روشی است که یک «اثبات‌کننده» می‌تواند به یک «بررسی‌کننده» نشان دهد که او یک راز - مثلاً خروجی یک عملیات کامپیوتری - را می‌داند، بدون این که به بررسی‌کننده هیچ اطلاعات اضافه‌ای، مانند خروجی عملیات، بدهد. به عبارت دیگر اثبات‌های بی‌دانش، صرفاً داشتن اطلاعات را اثبات می‌کنند و خود اطلاعات را محفوظ نگه می‌دارند.

یک اثبات بی‌دانش باید ۳ شرط زیر را داشته باشد:

- کامل بودن: اگر گزاره‌ی مورد اثبات صحیح باشد، بررسی‌کننده‌ای که پروتکل را رعایت کند، باید از درستی گزاره مطمئن شود.

- درستی: اگر گزاره مورد اثبات غلط باشد، هیچ اثبات‌کننده‌ای نتواند اثباتی ارائه کند که گزاره درست است.

- بی‌دانش: اگر اثبات درست باشد، بررسی‌کننده هیچ اطلاعاتی فراتر از این که گزاره صحیح است دریافت نکند. به عبارت دیگر

اثبات‌های بی‌دانش، اثبات‌های احتمالاتی هستند و در واقع احتمال کمی وجود دارد که بتوان یک اثبات نادرست ارائه کرد. به بیان دیگر شرط درستی این است که احتمال تولید یک اثبات نادرست بسیار کم باشد.

۱.۳.۲ مثال شهودی

سناریویی را در نظر می‌گیریم که یک توپ سبز و یک توپ قرمز روی یک میز قرار دارد و آلیس می‌خواهد به باب که کوررنگ سبز و قرمز است ثابت کند که این دو توپ با هم تفاوت دارند. برای اثبات آلیس چشمش را می‌بندد و باب یا دو توپ را جابجا می‌کند و یا جابجا نمی‌کند. در ادامه آلیس می‌گوید که آیا جای توپ‌ها با هم عوض شده‌اند یا نه. با یک پاسخ درست باب می‌فهمد که آلیس با احتمال ۵۰٪ درست می‌گوید. این فرایند را تا جایی که باب به احتمال دلخواهش برسد ادامه می‌دهند.

^۱ Zero knowledge proofs

یک نکته‌ی مهم در مثال بالا این است که حتی اگر باب این فرایند را ضبط کرده باشد، نمی‌تواند به کس دیگری اثبات کند که آلیس تفاوت این دو توپ را می‌داند چون که راهی برای اثبات این که سوال و جواب از قبل هماهنگ نشده بوده است ندارد.

این یکی از نیازمندی‌های بی‌دانش بودن اثبات است. اگر در فرایند برای تصمیم‌گیری در تعویض توپ‌ها باب از شیر یا خط کردن یک سکه استفاده می‌کرد، دیگر این اثبات بی‌دانش نبود، چرا که باب می‌توانست با ضبط کردن این فرایند به یک شخص ثالث اثبات کند که آلیس تفاوت این دو توپ را می‌داند.

برای داشتن شرط بالا یک اثبات بی‌دانش همواره تعامل از سمت بررسی‌کننده نیاز دارد. اما با ریلکس کردن این شرط و استفاده از یک ورودی غیرقابل پیش‌بینی برای تولید سوال‌های یک اثبات بی‌دانش - مثلاً هش ریشه‌ی یک درخت مرکب - می‌توان اثبات‌های بی‌دانش بدون نیاز به تعامل بررسی‌کننده ساخت.

۲.۳.۲ اثبات‌های بی‌دانش بدون تعامل

منظور از اثبات بدون تعامل، اثباتی است که در آن نیازی به فرستادن پیامی از سمت بررسی‌کننده به اثبات‌کننده نباشد. با این روش‌ها اثبات‌کننده می‌تواند اثبات را مستقل از بررسی‌کننده بسازد و ارسال کند، در ادامه‌ی این تحقیق اثبات‌های بی‌دانش و بی‌تعامل را **شاهد** می‌نامیم. در ادامه دو روش تولید یک شاهد بی‌دانش را بررسی می‌کنیم. این روش‌ها می‌توانند برای خروجی هر محاسبات کامپیوتری شاهد ایجاد کنند.

ZK-SNARK

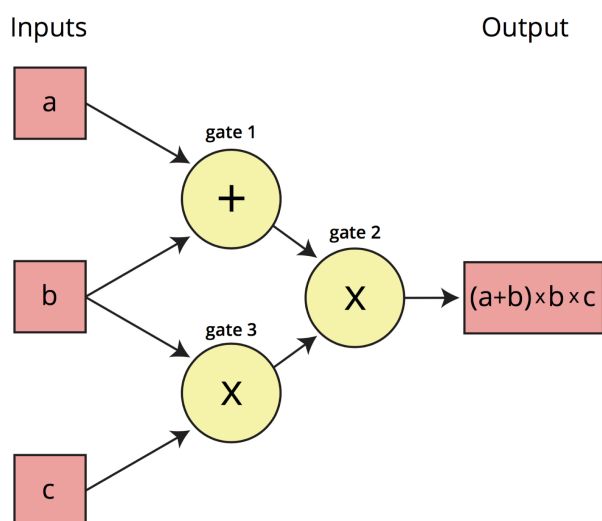
این روش مخفف Zero-Knowledge Succinct Non-Interactive Argument of Knowledge است. شاهد‌های این روش علاوه بر بی‌دانش بودن ویژگی‌های زیر را دارند:

- مختصر^۱: تولید و بررسی شاهد از انجام خود محاسباتی که اثبات می‌شود کوتاه‌تر (معمولاً از مرتبه‌ی زمانی $(\log N)^2$) است.
- بی‌تعامل^۲: نیازی به پیامی از بررسی‌کننده برای ایجاد شاهد نیست.

^۱ Succinct

^۲ Non-Interactive

- ادعای دانش^۱: اثبات ارائه شده در این روش درست^۲ است و نمی‌شود بدون داشتن اطلاعات آن را در زمان محدود ساخت.



شکل ۲.۲: یک نمونه مدار محاسباتی

برای ساختن یک شاهد به این روش ابتدا محاسبات لازم را به یک مدار محاسباتی ریاضی تبدیل می‌کنیم به طوری که اثبات را به عنوان تعدادی شرط روی این مدار نشان دهیم، سپس به کمک یک elliptic curve مقدار مدار را در چند نقطه‌ی تصادفی به عنوان اثبات ارائه می‌کنیم، با صادق بودن شرط‌ها در این نقاط شاهد را بررسی می‌کنیم.

برای انتخاب یکسان این نقاط تصادفی بین اثبات‌کننده و بررسی‌کننده نیاز به تعدادی نقطه‌ی توافق شده روی elliptic curve داریم که باید در قبل از تولید اثبات انتخاب شده باشند. در این فاز آماده‌سازی تعدادی عدد تصادفی برای انتخاب این نقاط تولید می‌شوند که بعد از تولید نقاط باید بلافاصله پاک شوند. کسی که این اعداد (در واقع نقطه‌ی شروع روی منحنی) را داشته باشد می‌تواند شاهد‌های تقلبی ایجاد کند. برای تولید شاهد واقعی نیازی به دانستن این نقاط نیست و بنابراین بعد از فاز آماده‌سازی این اعداد باید پاک شوند.

¹ Argument of Knowledge

² Sound

ZK-STARK

این روش مخفف Zero-Knowledge Scalable Transparent ARguments of Knowledge است. مهم‌ترین وجه تمایز این روش در مقایسه با ZK-SNARK «شفافیت»^۱ است، به این معنی که نیازی به فاز آماده‌سازی ندارد. عدم نیاز به آماده‌سازی و نداشتن زباله‌ی سمی (اطلاعاتی که باید پاک شوند تا امنیت سیستم تامین شود) این روش را برای کاربردهای حساس مناسب‌تر می‌کند اما در ازای این امنیت، حجم شاهدها از چند صد بایت به چند صد هزار بایت تغییر می‌کند.

از مزیت‌های دیگر این روش استفاده نکردن از Elliptic curveها است. نیازهای کم این روش باعث می‌شود که حتی با کامپیوترهای کوانتومی^۲ راهی برای شکستن این اثبات‌ها وجود نداشته باشد. برای ساختن یک شاهد با این روش، برنامه‌ی مورد نظر را تبدیل به یک چندجمله‌ای درجه بالا می‌کنند، سپس از مقادیر این چندجمله‌ای یک درخت مرکب ساخته می‌شود که مقادیر مختلف خروجی را نشان می‌دهد. سپس بررسی‌کننده چند شاخه از این درخت را به طور تصادفی انتخاب و بررسی می‌کند. برای غیرتعاملی کردن این اثبات می‌توان از هاش ریشه‌ی درخت مرکب به عنوان ورودی به تابع شبه‌تصادفی^۳ استفاده می‌شود که مشخص می‌کند خروجی کدام شاخه‌ها باید در شاهد بیاید.

¹ Transparency

² Quantum computers

³ Pseudo random

فصل ۳

کارهای پیشین

در این بخش ابتدا به بررسی تحقیقاتی می‌پردازیم که به مسئله حذف اعتماد از سیستم‌های مبتنی بر اعتماد پرداخته‌اند، در ادامه به کارهای مربوط به رای‌گیری الکترونیک و در نهایت به اثبات‌های بی‌دانش می‌پردازیم.

۱.۳ اعتماد

مسئله حذف نیاز به یک شخص معتمد را از طریق عمومی ساختن کل اطلاعات مورد نیاز می‌توان حل کرد. اگر تمامی اطلاعات درست باشد هر کسی می‌تواند برای خود درستی تراکنش‌ها را بررسی کند. مسئله‌ای که باقی می‌ماند زمانبست که بین چند شخص اختلاف پیش می‌آید که نسخه‌ی درست اطلاعات کدام است. مثلاً زمانی که چند نسخه‌ی صحیح از نظر فرمت وجود دارند اما نتایج مختلفی را می‌رسانند.

۱.۱.۳ توافق

توصیف رسمی این مسئله، مسئله‌ی ژنرال‌های بیزنتین^۱ [۱] است. در این مسئله چند ژنرال که می‌توانند یک به یک با هم صحبت کنند، در تلاشند تا به توافق برسند که آیا باید حمله کنند یا نکنند، تعدادی از ژنرال‌ها خائن هستند و در تلاشند که نتیجه‌ی توافق ژنرال‌ها را تغییر دهند. ژنرال‌های خائن می‌توانند با جواب ندادن یا جواب غلط دادن تلاش کنند که نتیجه‌ی توافق را تغییر دهند. در ساده‌ترین حالت و بدون استفاده از امضاهای دیجیتال ثابت می‌شود که برای $3k + 1$ ژنرال، با رای‌گیری می‌توان تا k خائن را تحمل کرد. راه‌حل‌های متعددی برای توافق^۲ در بستر بلاک‌چین داده شده که در ادامه به تعدادی از آن‌ها می‌پردازیم.

توافق

روشی که S.Nakamoto [۲] برای رفع این مسئله در بیت‌کوین استفاده کرده است، اثبات کار^۳ نام دارد. این روش که بر پایه‌ی روش استفاده شده در hashcash [۳] است. در این روش برای اضافه شدن هر بلوک به بلاک‌چین باید یک مسئله‌ی سخت (که نیاز به توان پردازشی بالا دارد) حل شود ولی بررسی درستی جواب ساده است. این روش روش بسیار فراگیری در ارزهای دیجیتال است. از مشکلات این روش می‌توان به توان مصرفی بالا و کندی

^۱ The Byzantine generals problem

^۲ کار اثبات

^۳ Proof of work

نسبی آن اشاره کرد. برای مثال حداکثر توان تئوری بیت کوین، ۷ تراکنش بر ثانیه است.

اثبات سهم

در روش اثبات سهم^۱ [۴] برای ساخت بلوک‌های جدید باید یک فاکتور مقدار سکه‌های در اختیار ماینتر و سن آن‌هاست. به این صورت که می‌تواند در ازای سن سکه‌های در اختیارش (با زدن یه تراکنش به خود) هش ساده‌تری برای بلوک بعدی اعمال کند. مزیت اصلی این روش توان مصرفی پایین‌تر آن به نسبت اثبات کار است. معمولاً در بلاک‌چین‌ها در بلوک‌های ابتدایی از روش اثبات کار استفاده می‌شود و بعد از مدتی برای کاهش هزینه‌های اضافه کردن بلوک جدید و مقایسه‌پذیری می‌توان از این روش یا ترکیب این روش‌ها استفاده کرد.

Protocol Consensus Ripple

در این روش [۵] [۶] تعدادی شخص مورد اعتماد وجود دارند که برای اضافه‌شدن بلوک به بلاک‌چین باید درصدی از آن‌ها درستی تراکنش را تایید کنند. این اشخاص در دسته‌های مختلف قرار می‌گیرند و برای تایید باید یک زیردسته‌ی کامل تراکنش‌ها را تایید کنند. با وجود سرعت نسبتاً بالای این روش - تا ۱۰۰۰ تراکنش در ثانیه - منتقدین آن از نیاز به اشخاص مورد اعتماد می‌گویند. این روش تا $n/5$ خطا در نودهای مورد اعتماد را می‌تواند تحمل کند.

Protocol Consensus Stellar

روش SCP [۷] مبتنی بر ایجاد افراد مورد اعتماد، به صورت طبیعی و خودجوش، در شبکه است. در این روش با افزایش تراکنش‌های درست توسط هر شخصی، آن شخص به عنوان فرد مورد اعتماد شناخته می‌شود و هر تراکنش را باید تعداد افراد مورد اعتماد تایید کنند. این افراد توسط پرداخت‌کننده‌ی تراکنش انتخاب می‌شوند اما دسته‌بندی آن‌ها در شبکه به گونه‌ای است که خطا در تایید تراکنش باعث حذف شدن فرد از لیست افراد مورد اعتماد شود. تفاوت اصلی این روش با Ripple در توانایی انتخاب تاییدکنندگان تراکنش است و فرض‌های اعتماد کمتر این روش باعث می‌شود که تا $n/3$ خطا در نودهای مورد اطمینان را بتواند تحمل کند.

^۱ proof of stake

۲.۱.۳ کاربردهای بلاک چین

ارز دیجیتال

اولین کاربرد بلاک چین، بیت کوین بود که با موفقیت آن چندین محصول دیگر هم تولید شدند. در بستر بیت کوین اثبات کار به صورت زیر استفاده می شود:

هر بلوک جدید شامل تعدادی تراکنش، برای ثبت در بلاک چین است. اما برای پذیرفته شدن این بلوک توسط دیگر دیگران، باید در این بلاک یک رشته بی معنی^۱ قرار گیرد به صورتی که هش بلاک از عددی که توسط پروتکل بیت کوین انتخاب می شود کمتر باشد. این شرط در طول زمان به صورت خودکار به روزرسانی می شود به طوری که در هر لحظه به صورت میانگین اضافه کردن یک بلوک ۱۰ دقیقه از کل شبکه زمان ببرد. از آنجایی که تنها راه یافتن همچنین رشته ای بروت فورس^۲ است، توان محاسباتی بالاتر احتمال یافتن بلوک بعدی را افزایش خواهد داد.

در پروتکل بیت کوین طولانی ترین بلاک چین - یعنی بلاک چینی که بیشترین توان محاسباتی برای آن صرف شده - به عنوان نسخه ی درست در نظر گرفته می شود. در نتیجه فرض می کنیم شخص A یک بیت کوین را به B منتقل کرده، این تراکنش در بلاک چین ثبت شده و در ازای آن کالایی دریافت کرده است، حال قصد دارد این تراکنش را از بلاک چین بیت کوین حذف کند تا بتواند آن را دوباره خرج کند. از آنجایی که نودهای شبکه ی بیت کوین اگر ۲ زنجیره از بلوک ها دریافت کنند زنجیره ی بلندتر را قبول خواهند کرد باید قبل از این که کل شبکه یک بلوک اضافه کند، دو بلوک سالم بسازد.

احتمال موفقیت حمله ی A مساوی^۲ $\left(\frac{A's\ computational\ power}{Bitcoin\ network's\ computational\ power}\right)^2$ است. اگر توان محاسباتی A از دیگر قسمت های شبکه کمتر باشد، این کسر عددی کوچک تر از 0.5 است. اگر این کار به موقع با موفقیت انجام نشود، سه بلوک عقب می افتد و توان فرمول بالا تبدیل به سه می شود و احتمال موفقیتش کمتر از پیش می شود. این مسئله مسئله ی قمارباز^۳ نام دارد که نشان داده می شود در آن در طول زمان احتمال موفقیت مهاجم به صورت نمایی کاهش پیدا می کند.

¹ Nounce

² Brute force

³ Gambler's Ruin

از پرکاربردترین‌های این محصولات می‌توان به لایت‌کوین^۱ و زی‌کش^۲ [۸] اشاره کرد. مزیت لایت‌کوین نسبت به بیت‌کوین در هزینه‌ی کمتر اضافه کردن بلوک و زمان تراکنش‌های کمتر است و زی‌کش امنیت بیشتری در زمینه‌ی حریم خصوصی و ناشناس ماندن ارائه می‌کند.

از نمونه‌های دیگر می‌توان به Ripple اشاره کرد، که برای تراکنش‌های بانک‌ها طراحی شده و همانطوری که بررسی کردیم از اثبات کار برای توافق استفاده نمی‌کند.

۳.۱.۳ سازمان‌های توزیع‌شده‌ی خودکار

دسته‌ی بعدی کاربردهای بلاک‌چین ایجاد سازمان‌های توزیع‌شده‌ی خودکار^۳ است. این مفهوم بر اساس مفهوم قرارداد هوشمند^۴ [۹]

ساخته شده است. این سازمان‌ها برنامه‌هایی هستند که به طور خودکار و بی‌اعتماد در یستر بلاک‌چین ایجاد می‌شوند و می‌توانند کاربردهای بسیاری داشته باشند. اتریوم^۵ [۱۰] که یک ارز دیجیتال است، یک بستر مناسب برای تولید قراردادهای هوشمند هم هست که در سال‌های اخیر کاربردهای بیشتری پیدا کرده‌اند. با این وجود یک دغدغه‌ای که همچنان در این بستر وجود دارد خطر اشتباه‌های برنامه‌نویسی در این سازمان‌هاست، از آن‌جا که تغییر کد اینگونه سازمان‌ها به دلیل خودکار بودن، همواره قابل تغییر نیست، اشتباهات امنیتی می‌تواند تاثیر مخرب عظیمی داشته باشند. [۱۱] atezi به بررسی مشکلات امنیتی معمول قراردادهای در بستر اتریوم و تله‌ی معمول این زبان برنامه‌نویسی و روش‌های تصحیح آن‌ها پرداخته است.

یک مسئله‌ی دیگر که ناشی از ناشناسی ذاتی این بسترهاست ایجاد شدن سازمان‌های مچرمانه در آن‌هاست. تحقیقات بسیاری [۱۲] [۱۳] در این زمینه شده، و از مثال‌های قراردادهای مخرب ممکن می‌توان به افشای اطلاعات خصوصی و یا حتی دزدین کلیدهای رمزنگاری اشاره کرد. به دلیل عدم وجود نظارت مرکزی در این سیستم‌ها، راهی برای جلوگیری از اینگونه قراردادها وجود ندارد.

^۱ Litecoin

^۲ Zcash

^۳ Decentralized autonomous organization (DAO)

^۴ Smart contract

^۵ Ethereum

۴.۱.۳ شناسایی

از کاربردهای دیگر بلاک چین ساخت روش های شناسایی^۱ است. ویژگی تغییر ناپذیری بلوک های قدیمی در یک بلاک چین، باعث می شود که ساختار داده ای ایده آلی برای شناسایی باشد. از این نمونه کاربردها می توان به namecoin اشاره کرد. هدف این محصول کاهش نیاز به اعتماد در DNS^۲ است. این محصول که روی بلاک چین بیت کوین ساخته شده است، در متن نوشته شده در تراکنش اطلاعات مربوط به نام دامنه ها را ذخیره می کند. از تحقیقات دیگر در این زمینه می توان به امنیت در داکر^۳ [۱۴] اشاره کرد. در این تحقیق با استفاده از بلاک چین یک بستر توزیع شده برای به اشتراک گذاری فایل های امضا شده ساخته شده است. در این سیستم می توان از یک بلاک چین خصوصی و یا به بلاک چین عمومی استفاده کرد.

^۱ Authentication

^۲ Domain Name Service

^۳ Docker

فصل ۴

NotYetAdded

در این بخش به تعریف مفاهیم به کار برده شده در این تحقیق می پردازیم:

- **بلاک چین:** بلاک چین ساختار داده ای است متشکل از بلوک های متوالی که هر یک هشی از بلوک قبلی اش را شامل می شود. در نتیجه برای ساختاری درست، باید با تغییر یک بلوک، تمام بلوک های بعد از آن را نیز تغییر داد.

- **اثبات کار^۱:** روش اثبات کار بر اساس hashcash [۳] -یک روش برای جلوگیری از حملات DDoS طراحی شده است- ساخته شده است. روش کار hashcash بدین صورت است:

برای این که یک ایمیل توسط سرور ارسال شود، همراه متن ایمیل کلاینت باید رشته ای ارسال کند تا اگر هش SHA-1 از آن گرفته شود ۲۰ بیت اول آن صفر شوند. به دلیلی تصادفی بودن هش رشته، باید با امتحان کردن رشته های مختلف به یک رشته ی مناسب رسید. زمان حل این مسئله برای کامپیوترهای 1 GHZ حدود یک ثانیه و برای بررسی درست بودن آن هش تنها ۲ میکروثانیه است.

زمان یک ثانیه ای برای کاربر عادی که قصد ارسال یک ایمیل را دارد، قابل قبول است اما برای مهاجمی که قصد spam کردن توسط این سرویس را داشته باشد، یک ثانیه در ازای هر ایمیل هزینه ی زیادی خواهد بود.

در بستر بیت کوین از این روش برای توافق بر بلوک های بعدی بلاک چین به صورت زیر استفاده می شود:

هر بلوک جدید شامل تعدادی تراکنش، برای ثبت در بلاک چین است تا توسط ماینرها به یک بلوک تبدیل شود. اما برای پذیرفته شدن این بلوک توسط دیگر ماینرها، باید در این بلاک یک nounce قرار گیرد به صورتی که هش بلاک از عددی که توسط پروتکل بیت کوین انتخاب می شود کمتر باشد. این شرط در طول زمان به صورت خودکار به روزرسانی می شود به طوری که در هر لحظه به صورت میانگین اضافه کردن یک بلوک ۱۰ دقیقه از کل شبکه زمان ببرد. از آنجایی که تنها راه یافتن همچنین رشته ای بروت فورس^۲ است، توان محاسباتی بالاتر احتمال یافتن بلوک بعدی را افزایش خواهد داد.

¹ Proof of work

² Bruteforce

• **مسئله‌ی ژنرال‌های بیزنتین:** مسئله‌ی ژنرال‌های بیزنتین یا تحمل خطای بیزنتین مدلی از تحمل خطا در سیستم‌های توزیع شده است که در آن تعدادی ژنرال ارتش با هم به صورت پیام‌های یک به یک صحبت می‌کنند و در ساده‌ترین حالت در مورد حمله یا عقب‌نشینی در یک نبرد تصمیم می‌گیرند. اما تعدادی از آن‌ها خائن بوده و برای توافق غلط جمع تلاش می‌کنند (توافق درست توافقی است که اگر هیچ خائنی وجود نداشت به آن می‌رسیدند) و یا با جواب ندادن مانع تصمیم‌گیری آن‌ها شوند. در ساده‌ترین حالت و بدون استفاده از امضاهای دیجیتال ثابت می‌شود که برای $1 + 3k$ ژنرال، با رای‌گیری می‌توان تا k خائن را تحمل کرد. راه حل خلاقانه‌ی بیت‌کوین برای حل این مسئله استفاده از بلاک‌چین برای ذخیره‌ی اطلاعات و اثبات کار برای اضافه کردن بلوک به بلاک‌چین است.

برای نشان دادن نحوه‌ی حل این مسئله مثالی را بررسی می‌کنیم؛ فرض می‌کنیم شخص A یک بیت‌کوین را به B منتقل کرده، این تراکنش در بلاک‌چین ثبت شده و در ازای آن کالایی دریافت کرده است، حال قصد دارد این تراکنش را از بلاک‌چین بیت‌کوین حذف کند تا بتواند آن را دوباره خرج کند. از آنجایی که نودهای شبکه‌ی بیت‌کوین اگر ۲ زنجیره از بلوک‌ها دریافت کنند زنجیره‌ی بلندتر را قبول خواهند کرد باید قبل از این که کل شبکه یک بلوک اضافه کند، دو بلوک سالم بسازد.

احتمال موفقیت حمله‌ی A مساوی $2^{\left(\frac{A's \text{ computational power}}{\text{Bitcoin network's computational power}}\right)}$ است. اگر توان محاسباتی A از دیگر قسمت‌های شبکه کمتر باشد، این کسر عددی کوچک‌تر از ۰.۵ است. اگر این کار به موقع با موفقیت انجام نشود، سه بلوک عقب می‌افتد و توان فرمول بالا تبدیل به سه می‌شود و احتمال موفقیتش کمتر از پیش می‌شود.

این مسئله مسئله‌ی قمارباز^۱ نام دارد که نشان داده می‌شود در آن در طول زمان احتمال موفقیت مهاجم به صورت نمایی کاهش پیدا می‌کند.

• **انشعاب^۲:** منظور از انشعاب در ارزهای دیجیتال تبدیل یک بلاک‌چین به دو بلاک‌چین است. گاهی برای ساخت ارزهای جدید از بلاک‌چین موجود ارزهای دیگر مثل بیت‌کوین استفاده می‌شود. این کار باعث شروع آسان‌تر و سریع‌تر بلاک‌چین می‌شود. در روال عادی کار بیت‌کوین نیز ممکن است انشعابی رخ

^۱ Gambler's Ruin

^۲ fork

دهد اما هر ماینری که متوجه انشعابی شود به صورت خودکار بلندترین زنجیره را به عنوان زنجیره‌ی درست انتخاب می‌کند. هنگامی که یک انشعاب برای تولید بلاک‌چین جدید انجام گیرد و بلوک‌هایی قبلی آن همچنان درست حساب شوند این انشعاب را انشعاب نرم و مورد قبول سیستم جدید نباشند انشعاب را انشعاب سخت می‌نامیم.

- **ماین کردن:** به عملیات ساختن بلوک‌های جدید بر بلاک‌چین با هدف پیدا کردن بلاک‌های درست و دریافت جایزه‌ی آن‌ها، ماین کردن می‌گوییم.

- **ماینینگ پول:** از آن جای که ماین کردن برای یک نفر با توجه به کم بودن احتمال یافتن بلوک معتبر را زودتر از بقیه‌ی شبکه به صرفه نیست، ماینینگ پول‌ها شکل گرفته‌اند. با تقسیم کردن کار بین چندین ماشین شانس پیدا کردن بلوک معتبر بیشتر شده و جایزه‌ی ماین کردن به نسبت توان محاسباتی بین شرکت‌کنندگان تقسیم می‌شود. برای بدست آوردن توان محاسباتی مصرف شده‌ی هر ماشین از تعداد بلوک‌هایی که هش آن‌ها به اندازه‌ی کافی برای درست بودن کوچک نیست ولی به جواب درست نزدیکند استفاده می‌شود.

- **قرارداد هوشمند** لفظ قراردادهای هوشمند اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط N.Szabo [۹] به عنوان یک پروتکل تراکنش کامپیوتری که شروط یک قرارداد را اجرا می‌کند، مطرح شد. در اولین مثال معروف قراردادهای هوشمند یک وندینگ ماشین^۱ را مثال زد که در ازای سکه‌ی به طور اتوماتیک کالای مورد نظر را به مشتری می‌دهد، همچنین از آنجای که بدون سکه هرگز کالایی نمی‌دهد و صندوق، امنیت سکه‌ها را تا حدودی تأمین می‌کند، قرارداد مناسبی بین مشتری و تولیدکننده‌ی کالا محسوب می‌شود. هدف نهایی قراردادهای هوشمند کاهش نیاز به اعتماد کردن و افراد میانی در یک قرارداد است و با بسترهای ارز دیجیتال و راه‌حل‌های جدید مسئله‌ی ژنرال‌های بی‌زنتین بستر مناسبی برای ساخت قراردادهای هوشمند و توزیع شده بدون نیاز به اعتماد به شخص ثالث بوجود آمده است. با وجود این که به کمک زبان اسکریپتینگ بیت کوین می‌توان مدل‌های مختلفی از قراردادهای هوشمند را تولید کرد، با اتریوم به کمک زبان برنامه‌نویسی turing-complete آن در تئوری می‌توان هر قرارداد هوشمند ممکن را تولید کرد.

^۱ vending machine

فصل ۵

مروری بر پژوهش‌های مرتبط

در این بخش به مروری بر کارهای انجام شده تاکنون می‌پردازیم. این مقالات را به سه دسته‌ی زیر تقسیم می‌کنیم.

۱.۵ امنیت بلاک‌چین و ماین کردن

در روش امنیتی بیت‌کوین که از طریق حل یک مسئله‌ی سخت محاسباتی ثابت بلاک‌های جدید به بلاک‌چین اضافه می‌شوند چند مسئله‌ی امنیتی رخ می‌دهد؛ نخست به دلیل این که عملیات ماین کردن نیازی به تمام بلاک‌چین ندارد و افراد می‌توانند کار را تقسیم کنند احتمال بوجود آمدن یک ماینینگ پول که بیش از پنجاه درصد توان محاسباتی را داشته باشد بالا می‌رود. بعضی پژوهش‌ها در این زمینه برای تولید مسائل مناسب برای اثبات کار، که در عین حال قابل تقسیم و موازی انجام شدن هم باشند، انجام شده است.

مورد دیگر، بوجود آمدن سخت‌افزارهای مخصوص این مسئله است که باعث می‌شود عملیات ماین کردن از یک عملیات توزیع شده که تمام افراد در آن شرکت می‌کنند به عملیاتی که به سرمایه‌ی اولیه زیاد نیاز دارد، تبدیل شود. امنیت بیت‌کوین در گرو این موضوع است که به نفع تمامی ماینرهاست که پروتکل را رعایت کنند اما در این تحقیق [۱۵] نشان داده شده که این گزاره همواره درست نیست و در بعضی شرایط به نفع ماینینگ پول‌هاست که از توان مصرفی خود در یک ماینینگ پول رقیب استفاده کنند و اگر هش درست را برای رقیب پیدا کردند آن را اعلام نکنند [۱۶].

تحقیق دیگر [۱۷] نشان داد در شرایطی برای به نفع ماینینگ پول‌هاست که اگر هش درست را پیدا کردند به دیگران اعلام نکنند تا برای بلوک بعدی به دلیل زودتر شروع کردن شانس بیشتری داشته باشند.

با توجه به این شرایط و همچنین هزینه‌ی محاسباتی بالایی که ماین کردن در شرایط فعلی بیت‌کوین و بسیاری از ارزهای دیجیتال دیگر دارد تحقیقات بسیاری برای پیدا کردن روش‌های دیگر به جای استفاده از اثبات کار برای اضافه کردن بلوک به بلاک‌چین شده که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌کنیم:

- اثبات سهم^۱: به این صورت است که هر ماین‌کننده‌ای که سهم بیشتری در سکه‌های بستر داشته باشد،

^۱ proof of stake

شانس بیشتری برای ساختن بلوک بعدی دارد. ایده‌ی کلی این روش این است که در صورت بروز مشکلی برای بستر، این افراد بیشترین ضرر را خواهند کرد.

- **اثبات سن سکه^۱:** یک روش ارائه شده توسط Peercoin است که در آن برای ماین کردن به مقدار سکه‌ی قدیمی (عمر سکه مدت زمانی که در یک حساب ساکن مانده باشد تعریف می‌شود) هر ماین‌کننده توجه می‌شود.

- **اثبات سپرده^۲:** در این روش برای ساخت بلوک جدید باید مقداری سکه توسط ماین‌کننده در یک حساب برای مدت زمانی قفل شوند.

- **اثبات سوزاندن^۳:** در این روش برای ساخت بلوک باید مقداری سکه را به حسابی غیرقابل دسترس (مثلاً حسابی با کلید عمومی تماماً صفر) منتقل کرد.

- **اثبات فعالیت^۴:** در این روش تعدادی کاربر در هر مرحله به صورت تصادفی برای اضافه کردن بلوک انتخاب می‌شوند و باید در مدت زمانی محدود با یک پیغام امضا شده به آن پاسخ دهند.

- **Stellar Consensus Protocol [۷]:** در این روش با وجود آمدن طبیعی کاربرهای قابل اعتماد و ساخت لایه‌هایی از اعتماد که بی‌شبهت به لایه‌های ISP نیست، برای انتخاب بلوک بعدی تصمیم می‌گیرند. همچنین هر کاربر خود انتخاب می‌کند که چه افرادی در مورد درستی تراکنش او تصمیم بگیرند.

۲.۵ امنیت قراردادهای اتریوم

بدیهی است که با وجود آمدن ارزهای دیجیتال مانند بیت‌کوین و تراکنش‌های نیمه‌ناشناس در آن‌ها بستری مناسبی برای تراکنش‌های غیرقانونی و مجرمانه وجود آمد، به کمک بستر اسکرپیتینگ بیت‌کوین و در ادامه بستر کامل قراردادهای هوشمند مسئله‌ی قراردادهای مجرمانه به طور جدی‌تری مسئله خواهد شد. در تحقیق‌های

^۱ proof of coin-age

^۲ proof of deposit

^۳ proof of burn

^۴ proof of activity

[۱۲] [۱۳] به بررسی دقیق‌تر این کاربردها پرداخته شده است. برای مثال قراردادهایی برای لو دادن اسناد محرمانه و یا حتی دزدین کلیدهای رمزنگاری از جمله کاربردهای ممکن این قراردادها هستند. همچنین atezi [۱۱] به بررسی مشکلات امنیتی معمول قراردادهای در بستر اتریوم و تله‌ی معمول این زبان برنامه‌نویسی و روش‌های تصحیح آن‌ها پرداخت. از اشتباهاتی که وی در تحقیق خود به آن‌ها پرداخته می‌توان به نحوه‌ی نوشتن قراردادی که در سال ۲۰۱۶ باعث انشعاب بلاک‌چین اتریوم شد اشاره کرد.

۳.۵ حریم خصوصی

از کارهای دیگر بر روی امنیت تراکنش‌ها می‌توان به تلاش‌هایی برای تبدیل کردن این بسترها از بسترهای تراکنش نیمه‌ناشناس به تراکنش‌های ناشناس اشاره کرد. کارهایی مانند zerocash [۸] و بستر HAWK [۱۸] و یا E. Heilman در مقاله‌ی [۱۹] به بررسی روش‌های تولید تراکنش‌های کاملاً ناشناس بر روی بسترهای موجود یا خارج از آن‌ها پرداخته‌اند.

فصل ٦

طرح مسئله

با بوجود آمدن سازمان‌های خودکار توزیع‌شده در بستر اتریوم تلاش‌های بسیاری برای ساخت سازمان‌هایی برای کاربردهایی که در ساختار فعلی جامعه احتیاج به اعتماد به یک سازمان مرکزی دارند در بستر بلاک‌چین شده است.

یکی از این کاربردها سیستم‌های رای‌گیری هستند. در شرایط فعلی برای راه انداختن یک سیستم رای‌گیری سیستم‌های خودکاری وجود دارند که استفاده از آن‌ها نیازمند اعتماد به نگه‌دارندگان آن سیستم‌ها (که در بسیاری از کاربردها دولت‌ها این نقش را به عهده دارند) و همچنین امنیت این سیستم‌هاست.

یک تحقیق معروف از دانشگاه NYU در سال ۲۰۱۵^۱ توضیح داد که ماشین‌های رای‌گیری الکترونیکی که در ۴۳ ایالت آمریکا استفاده می‌شوند در سال ۲۰۱۶ به دهمین سال استفاده شدن می‌رسند. ساختار و نرم‌افزار قدیمی این دستگاه‌ها باعث می‌شود که احتمال هک شدن آن به شدت بالا برود.

در سال ۲۰۱۶ اوکراین و ایالات متحده‌ی آمریکا قراردادی برای ساخت یک سیستم رای‌گیری بر روی بستر اتریوم امضا کردند.^۲ این پتانسیل تکنولوژی بلاک‌چین در زمینه‌ی رای‌گیری باعث تولید چند نمونه [۲۰] از سیستم‌های رای‌گیری بر بستر بلاک‌چین نیز شده که از آن‌ها می‌توان به VoteBook [۲۱] توسط شرکت Kaspersky که یک شرکت پیشرو در زمینه‌ی امنیت است اشاره کرد.

فلسفه‌ی ساخت این سیستم به صورتی است که تلاش می‌کند برای کاربرانی که از سیستم‌هایی رای‌گیری فعلی استفاده می‌کنند کمترین تغییر در رفتار نیاز باشد.

از مثال‌های دیگر سیستم‌های رای‌گیری مبتنی بر بلاک‌چین می‌توان به استارت‌آپ Follow My Vote اشاره کرد. نحوه‌ی کار این سیستم با سیستم VoteBook تفاوت اساسی دارد و برای رای‌دادن احتیاج دارد که نرم‌افزاری برای رای‌دادن به روی کامپیوتر و یا تلفن همراه کاربران نصب شود.

و در نهایت یکی از موفق‌ترین سیستم‌های رای‌گیری مبتنی بر بلاک‌چین موجود در حال حاضر VoteWatcher ساخته شده توسط یک شاخه از شرکت blockchain Technologies Corporation است که یک شرکت بزرگ برای ارائه‌ی سرویس‌های مبتنی بر بلاک‌چین است. طبق وب‌سایت این محصول تاکنون بیش از صد هزار رای در بیشتر از ۲۰ رای‌گیری مختلف توسط این سیستم شمارش شده است.

^۱ <https://www.brennancenter.org/publication/americas-voting-machines-risk>

^۲ <http://www.coinfox.info/news/4794-ukraine-to-introduce-ethereum-based-e-voting>

مدل اسفاده‌ی VoteWatcher به سیستم VoteBook بسیار شبیه است و تفاوت رفتاری زیادی با مدل‌های رای‌گیری الکترونیکی فعلی برای کاربران ندارد.

یک نکته‌ی مهم در مورد همه‌ی این نمونه‌ها این است که در آن‌ها استفاده‌ای از بلاک‌چین‌های عمومی نمی‌شود و با استفاده از بلاک‌چین‌های اختصاصی کار می‌کنند. در حالت کلی این یک نکته‌ی منفی ولی بسته به کاربرد می‌تواند استفاده از یک بلاک‌چین عمومی به شفافیت سیستم کمک کند.

یک مسئله‌ی دیگر که با وجود امنیت بالای این سیستم‌ها هنوز حل نشده و جای کار دارد سیستم‌های رای‌گیری برای شرایطی که امنیت رای‌دهندگان را نمی‌شود به خوبی تامین کرد است. با وجودی که اکثر سیستم‌های فعلی از قابلیت انتخاب این که رای این رای‌دهنده شمارش نشود پشتیبانی می‌کنند، سیستم پیگیری رای که برای امنیت و اطمینان بیشتر به سیستم اضافه شده می‌تواند حریم خصوصی کاربران را زیر سوال ببرد.

R. Sarres de Almeida در یک بلاگ پست به این مسئله در برزیل و مشکلاتی که این سیستم به وضعیت خرید و فروش و یا تهدید برای رای دادن به یک کاندیدای خاص بوجود می‌آورد پرداخت. در شرایطی که فردی که رشوه داده می‌تواند Ballot ID کسی که رای داده را از او گرفته و نتیجه‌ی رای او را چک کند، خطر خرید و فروش و بخصوص استفاده از خشونت برای جمع کردن رای دوچندان می‌شود.

با توجه به این خلا موجود در پیاده‌سازی‌های موجود در این زمینه، هدف این پژوهش طراحی یک سیستم رای‌گیری دیجیتال مبتنی بر بلاک‌چین است که در آن بتوان شمارش هر رای را بررسی کرد ولی امکان وصل کردن به رای داده شده به هیچ وجه ممکن نباشد.

مراجع

- [1] R. L.Lamport and M.Pease, "The byzantine generals problem," *ACM Transactions on Programming Languages and Systems(TOPLAS)*, vol.4, no.3, pp.382-401, 1982.
- [2] S. Nakamoto, "Bitcoin : A peer-to-peer electronic cash system," 2008.
- [3] A. beck, "Hashcash : a denial of service counter-measure," 2008.
- [4] S. S.King, "Ppcoin : Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake.," *self-published paper*, 2012.
- [5] N. D.Schwartz and A.Britto, "The ripple protocol consensus algorithm," *Ripple Labs Inc White Paper*, 2014.
- [6] B.Chase and E.MacBrough, "Analysis of the xrp ledger consensus protocol," *Ripple Labs Inc White Paper*, 2018.
- [7] D. Mazieres, "The stellar consensus protocol : A federated model for internet-level consensus," 2015.
- [8] E. B. Sasson, A. Chiesa, C. Garman, M. Green, I. Miers, E. Tromer, and M. Virza, "Zero-cash : Decentralized anonymous payments from bitcoin," *2014 IEEE Symposium on Security and Privacy*, pp.459-474, 2014.
- [9] N. Szabo, "Smart contracts," *http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/L* 1993.
- [10] "Ethereum foundation, ethereum whitepaper, a next-generation smart contract and decentralized application platform,"" *https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper* , 2014.
- [11] N. Atzei, M. Bartoletti, and T. Cimon, "A survey of attacks on ethereum smart contracts," *Proceedings of the 6th International Conference on Principles of Security and Trust*, vol.10204, pp.164-186, 2017.

- [12] A. Juels, A. Kosba, and E. Shi, "The ring of Gyges: Investigating the future of criminal smart contracts," *Proceedings of ACM CCS*, pp.283-295, 2013.
- [13] L. Luu, D.-H. Chu, H. Olickel, P. Saxena, and A. Hobor, "Making smart contracts smarter," *Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, pp.254-269.
- [14] M. F. B. M. R. B. Q. Xu, C. Jin and K. M. M. Aung., "Blockchain-based decentralized content trust for docker images," *Multimedia Tools and Applications*, vol.77, no.14, 2018.
- [15] J. Bonneau, A. Miller, J. A. Narayanan, and E. W. Felten, "Sok: Research perspectives and challenges for bitcoin and cryptocurrencies," *IEEE Symposium on Security and Privacy*, 2015.
- [16] N. T. Courtois, "On the longest chain rule and programmed selfdestruction of cryptocurrencies," *arXiv preprint arXiv:1405.0534*.
- [17] I. Eyal and E. G. Sirer, "Majority is not enough: Bitcoin mining is vulnerable," *Financial Cryptography*, 2014.
- [18] A. Kosba, A. Miller, E. Shi, Z. Wen, and C. Papamanthou, "Hawk: The blockchain model of cryptography and privacy-preserving smart contracts," *IEEE Symposium on Security and Privacy*, pp.839-858, 2016.
- [19] E. Heilman, Eftychios Baldimtsi, and S. Goldberg, "Blindly signed contracts: Anonymous on-blockchain and off-blockchain bitcoin transactions," *Financial Cryptography and Data Security*, 2016.
- [20] R. Osgood, "The future of democracy: Blockchain voting," *COMP116: Information Security*, 2016.
- [21] K. Kirby, A. Masi, and F. Maymi, "Votebook: A proposal for a blockchain-based electronic voting system," <https://www.economist.com/sites/default/files/nyu.pdf>, 2016.

Abstract:

Since Bitcoin's wide adaption in 2009 there has been a abundance of trustless applications based of Bitcoin's use of blockchain technology and after the release of Ethereum's smart contract platform we are seeing more and more usages of smart contracts. With this increase in usage of these platforms we on must be mindful of the security implications of these platforms.

In This research we first review the basics of digital currencies and their underlying technologies and then review the security considerations of their platforms and the applications based on them and finally move to voting as a usecase of these platforms and consider the challenges we face while implementing such a system.

Keywords: Blockchain, Ethereum, Security, Smart Contracts, Voting



Shahid Beheshti University

Faculty of Computer Science & Engineering

Usage and Security of Blockchain in Smart Contracts

By

Shervin Hajiesmaili

A THESIS SUBMITTED
FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE

Supervisor :

Dr. Maghsoud Abbaspour

2018