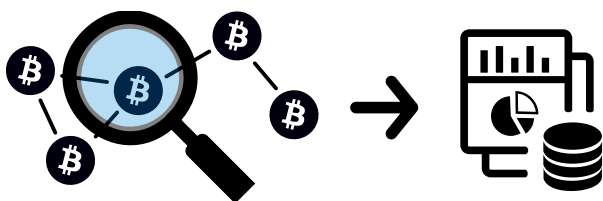


BiNMon - Bitcoin Network Monitor: Platforma pro monitorování sítě Bitcoin

Vladimír Jeřábek*



Abstrakt

Cílem této práce je vytvořit platformu, která bude shromažďovat relevantní informace o aktivních uzlech v peer-to-peer síti Bitcoin. Díky monitorování chování jednotlivých uzlů v síti, jsem schopen sbírat důležité data, která mohou sloužit pro podrobnější analýzu. Implementované řešení využívá nemodifikovaného Bitcoin Core klienta, a nabízí jednoduchou škálovatelnost díky modulární architektuře, která je dosažena za pomoci Docker kontejnerizace. Platforma poskytuje i jednoduchou vizualizaci nashromážděných dat.

Součástí této práce je také analýza nashromážděných dat z dvouměsíčního běhu platformy BiNMon. Tato platforma v rukou vědců bude představovat relevantní a autentický zdroj informací o kryptoměně Bitcoin. V neposlední řadě může tato práce sloužit i jako zdroj inspirace pro ostatní vývojáře, kteří chtějí vytvořit podobný nástroj na shromažďování a analýzu velkého množství dat například z dalších kryptoměn.

Klíčová slova: Monitorování sítě – Peer-to-Peer – Bitcoin – Kryptoměny – Analýza dat

Příložené materiály: N/A

*xjerab21@stud.fit.vutbr.cz, Fakulta informačních technologií, Vysokého učení technického v Brně

1. Úvod

Kryptoměny v čele s měnou Bitcoin jsou v posledních letech velmi skloňovaným tématem. Tyto digitální měny se těší velké oblibě mezi lidmi především jako spekulativní investice, nicméně existuje i dost případů zneužití této měny pro nezákonnou činnost, jako je například praní špinavých peněz, či obchodování s nelegálním zbožím [1]. Pro vědeckou komunitu je velmi lákavé studovat měnu Bitcoin a to jak z technického, tak ekonomického hlediska. Pro co nejlepší chápání chování kryptoměny Bitcoin je však potřeba dostatečné množství dat. Jedním ze zdrojů dat může být například *blockchain* - veřejně přístupná a na každém uzlu replikovaná databáze transakcí. Kromě samotného blockchainu jsou však i zajímavá data přenášena

peer-to-peer (P2P) sítí Bitcoin, nicméně tato síťová data nejsou nikde ukládána a jsou tedy navždy ztracena a zapomenuta. Že se vskutku jedná o relevantní zdroj informací ukazuje například vědecká práce *P. Koshy et al.* [2], ve které právě data z P2P sítě byla využita k analýze anonymity v síti Bitcoin.

Cílem této práce je vytvořit nástroj, který bude sloužit pro shromažďování metadat z jednotlivých uzlů P2P sítě Bitcoin. Tento nástroj se bude potýkat ze zpracováním poměrně velkého množství dat, v současné době to jsou řádově desítky megabitů za sekundu, avšak celkově musí být tento nástroj schopný zpracovávat minimálně 10x větší datový tok. Toto řešení musí být snadno horizontálně škálovatelné a to z důvodů možného růstu velikosti P2P sítě Bitcoin. Další očeká-

vanou vlastností tohoto nástroje je schopnost vybírat relevantní data a ty pak efektivně ukládat s možností rychlého přístupu. Očekává se, že ukládané data po normalizaci nebudou přesahovat 10 GB za den, což za jeden rok bude činit kolem 3,6 TB dat. V poslední řadě bude tato platforma vizuálně prezentovat část nasbíraných dat v jednoduché webové aplikaci. Data, která budou vizuálně prezentována, jsou data spojená s metadaty běžících uzlů, jako je například počet aktivních uzlů v čase, či geografické rozložení jednotlivých aktivních uzlů.

Tématem sběru dat ze sítě Bitcoin a jejich následné analýzy se zabývalo již pár prací, avšak ve většině je použit přístup, který není zcela optimální, a který se snaží tato práce zlepšit. Jedná se o přístup, který v případě změn v komunikačním protokolu Bitcoin, vyžaduje zásah do implementace monitorovacího nástroje, což se nejeví být vždy dobré. Relevantní související práce jsou podrobněji popsány v následující Sekci 2, kde jsou také diskutovány jejich silné a slabé stránky.

Můj nástroj řeší problém s nutným zásahem do implementace díky využití Bitcoin Core oficiálního klienta pro komunikaci s okolními uzly v síti Bitcoin. Bitcoin Core klient je ovládán programově pomocí RPC volání.

Tato platforma v rukou vědců bude představovat relevantní a autentický zdroj informací o kryptoměně Bitcoin. V neposlední řadě může tato práce sloužit i jako zdroj inspirace pro ostatní vývojáře, kteří chtějí vytvořit podobný nástroj na shromažďování a analýzu velkého množství dat například z dalších kryptoměn.

2. Přehled souvisejících prací

Existuje několik desítek vědeckých prací, které využívají data z P2P sítě či se zaměřují na sběr těchto dat. V práci *P. Koshy et al.* [2] používají data nasbírané z vlastního Bitcoin klienta nazvaného *CoinSeer*, jež byl implementován jako součást diplomové práce *P. Koshy* [3]. *CoinSeer* Bitcoin klient se skládá ze tří komponent:

- *Collector* - se připojuje na všechny aktivní uzly v síti Bitcoin a z celého Bitcoin protokolu rozumí pouze devíti typům zpráv: *version*, *verack*, *addr*, *inv*, *tx*, *block*, *getaddr*, *getdata* a *getblocks*. Jak autor deklaruje, tak změny v Bitcoin protokolu mohou významně ovlivnit sběr dat, jelikož tato komponenta nemusí nové typy či změny ve struktuře zpráv podporovat. *Collector* také shromažďuje metadata o příchozích zprávách, jako jsou časové razítka a IP adresu zdroje této

zprávy. Všechna tato data jsou předávána do další komponenty.

- *Parser* - nashromážděná data analyzuje a vybírá pouze relevantní informace, které ukládá.
- *Analyzer* - slouží pro zobrazování a práci s uchovanými daty.

Dále bych chtěl zmínit práci *T. Neudecker* [4], který již po dobu tří let monitoruje síť Bitcoin a veřejně poskytuje rozsáhlé množství metadat o provozu této sítě. Pro tyto účely použil svoji upravenou verzi oficiálního klienta Bitcoin Core verze 0.10. Při monitorování sítě použil dva takto upravené uzly. Výsledkem jeho práce je například zjištění, že za dobu tří let došlo ke zlepšení v rychlosti a tedy bezpečnosti při šíření bloků sítě, a to díky i změnám v protokolu Bitcoin. Dále ukázal, že za tuto dobu došlo ke zvýšení času potřebného pro šíření transakcí napříč sítí, a to z důvodu zvýšení anonymity těchto transakcí (zavedení náhodného jitteru v šíření transakce peerům). Kromě snímku nasbíraných dat¹, které jsou částečně anonymizované, poskytují také grafy v reálném čase².

Jako poslední bych chtěl zde uvést práci *A. Zaujec* [5], jejímž cílem bylo vytvořit nástroj pro monitorování uzlů sítě Bitcoin. Tento nástroj je schopen kromě připojení se na všechny aktivní uzly sítě, také sběru metadat o daných uzlech, jako je například doba aktivity těchto uzlů. Tato práce využívá neupraveného Bitcoin Core klienta, který je ovládán pomocí sady aplikací skrze RPC rozhraní. Výstupem této práce, kromě samotného nástroje, je i informace, že náročnost na operační paměť, je u oficiálního klienta přímo úměrná počtu otevřených spojení. Při 5500 otevřených spojení klient používal přibližně 6,5 GB operační paměti.

Studiem měny Bitcoin a dalších kryptoměn se věnují nejenom akademické obce, ale také různé projekty nevědeckého charakteru. Jako jeden z této třídy projektů bych chtěl zmínit *bitnodes*, který je blízký probíranému tématu. Tento projekt má za cíl vytvořit platformu, která je schopná odhadnout velikost Bitcoin P2P sítě. Současná metodika zahrnuje rekurzivní posílání zpráv typu *getaddr*, pro nalezení všech aktivních uzlů v síti. Tento prohledávač je naprogramován v jazyce Python a zdrojové kódy jsou k dispozici v oficiálním github repozitáři³. Na oficiálních stránkách projektu⁴ jsou ke zhlédnutí také živé mapy znázorňující rozložení dosažitelných Bitcoin uzlů v zemích po celém světě.

¹<https://dsn.tm.kit.edu/bitcoin/data.html>

²<https://dsn.tm.kit.edu/bitcoin/index.html>

³<https://github.com/ayeowch/bitnodes>

⁴<https://bitnodes.io/>

Projekt Bitnodes poskytuje také veřejné REST API⁵, kde jsou k dispozici data získaná z běhu prohlížečů, nicméně přístup k těmto datům je omezen na 5000 požadavků za den z jedné IP adresy.

2.1 Diskuze silných a slabých stránek

Ve výše zmíněných pracích se profilují dva přístupy k monitorování uzlů v síti Bitcoin.

První způsob je použití existujícího klienta (například Bitcoin Core), který je programově ovládán pomocí RPC rozhraní. Tento způsob disponuje velkou výhodou v podobě udržitelnosti. S příchodem nové verze protokolu stačí aktualizovat používaného Bitcoin Core klienta, který novému protokolu rozumí. Další výhodou je, že oficiální klient je schopný poskytovat služby okolním uzlům v síti. Mezi takové služby patří například šíření, validace transakcí, či bloků, a nebo více specifické pro lehké klienty, jako například použití *bloom-filtrů* [6]. Slabou stránkou tohoto řešení je však mnohonásobně větší náročnost na hardwarové zdroje zařízení.

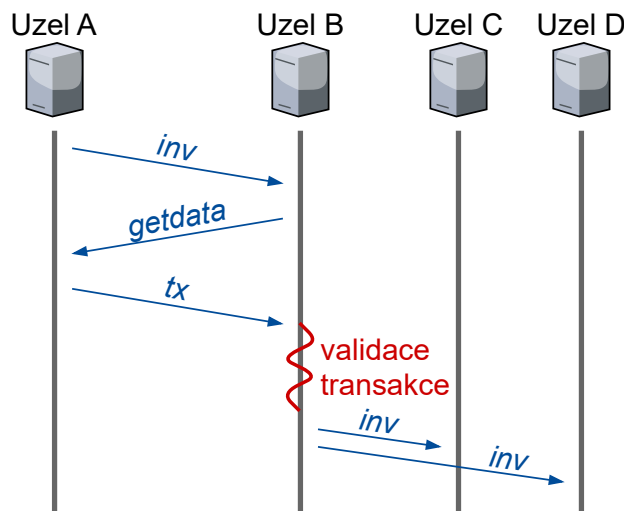
Druhý způsob je implementace vlastního lehkého klienta, který bude rozumět pouze omezenému množství zpráv z celého komunikačního protokolu Bitcoin, nicméně pro potřeby monitorování uzlů v síti zcela dostačující. Velkou výhodou tohoto způsobu je efektivita (program dělá pouze to k čemu byl určen) a nízká náročnost na zdroje. Nevýhodou však je nutnost zasáhnout do implementace klienta v případě, že dojde k vydání nové verze protokolu, což z hlediska dlouhodobé udržitelnosti je poměrně náročné.

3. Přehled architektury platformy

Tato sekce popisuje celkovou architekturu platformy určené pro sběr, uchovávání a také zobrazení dat z Bitcoin P2P sítě. Kromě popisu samotné architektury platformy jsou zde diskutovány i použité technologie.

Bránou do P2P sítě v této práci je neupravený oficiální klient Bitcoin Core. Můj monitorovací nástroj je schopný sledovat i část uzlů, které nepodporují příchozí připojení. Data z těchto uzlů budou unikátní, protože momentálně neexistuje práce, která by je sbírala a jakkoli poskytovala.

Po navázání spojení si jednotlivé uzly začnou předávat data dle specifického komunikačního protokolu. Jednou z významných zpráv, která je posílána sítí, je zpráva *Inventry* - *inv*. V této zprávě uzel oznamuje svým sousedním uzlům existenci nové transakce, či bloku. V případě zájmu o tato nová data uzel odpoví zprávou *getdata*. Na tuto zprávu následuje odpověď s příslušnými daty, jako jsou data transakce - zpráva



Obrázek 1. Sekvenční diagram znázorňující průběh šíření nové transakce v síti Bitcoin.

tx, či bloku - zpráva *block*. Pro názornou ukázkou šíření nové transakce sítí Bitcoin odkazují čtenáře na Obrázek 1. Aby daná platforma mohla shromažďovat co nejvíce relevantních informací je třeba, aby monitorovací uzel byl připojen k co možná nejvíce aktivním uzlům v síti. Hledání dostupných aktivních uzlů nebude implementováno touto platformou, avšak budou použity již existující nástroje, jako je projekt *Bitnodes* nebo *Crypto_monitor*, které jsou popsány v Sekci 2.

3.1 Shromažďované metadata

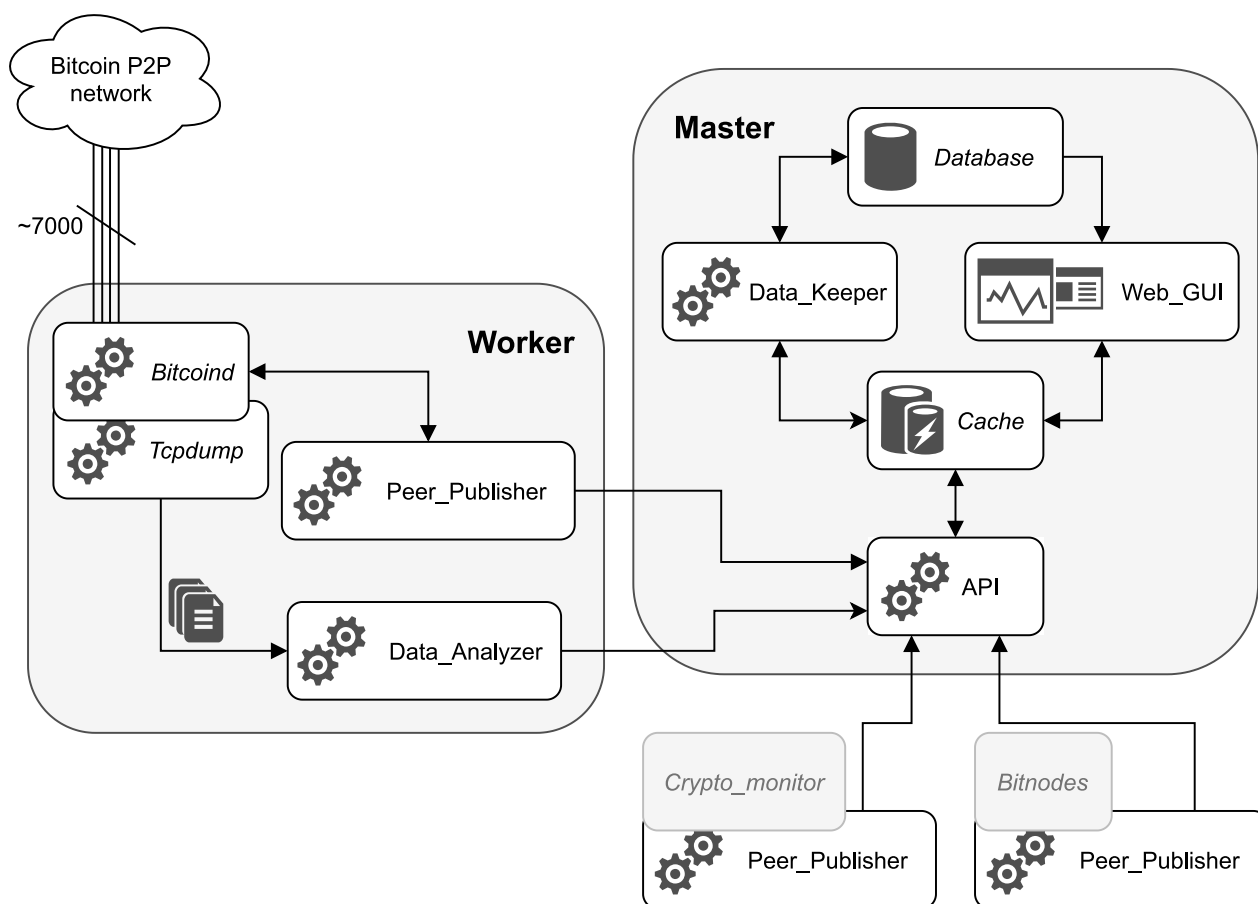
Relevantními informacemi jsou data ohledně aktivit sousedních uzlů. Těmito aktivitami lze nazvat například dobu běhu sousedního uzlu, společně s informací o verzi softwaru, maximálního podporovaného protokolu a poskytovaných služeb daným uzlem. Tato shromažďovaná data budou také doplněna o geografickou polohu jednotlivých uzlů. Data jsou ukládána do SQL databáze, která se skládá z následujících tabulek:

- *Nodes* - tabulka uchovávající IP adresy a čísla portů sousedních uzlů.
- *Geoip* - v této tabulce jsou uchovány informace o geografické poloze uzlů.
- *Nodes-Activities* - tabulka uchovávající data o aktivitách jednotlivých uzlů, konkrétně obsahuje začátek a konec aktivity uzlu.
- *Nodes-metadata* - tato tabulka obsahuje metadata o uzlech, jako jsou informace o verzi protokolu, použitého *user agenta* a poskytovaných službách.

3.2 Logické schéma platformy

Celá platforma se skládá z devíti samostatných komponent, které budou provádět specifický úkol v daném

⁵<https://bitnodes.io/api/>



Obrázek 2. Digram komponent platformy

systému. Diagram architektury platformy je možný vidět na Obrázku 2.

Jednotlivé komponenty jsou znázorněny obdélníky se zakulacenými rohy. Komunikace a tok dat mezi komponentami je znázorněn pomocí orientovaných šipek. Na diagramu jsou také znázorněny dvě meta-komponenty: *Worker* a *Master*. Toto rozdělení na dvě meta-komponenty plyne primárně z potřeby škálování daného řešení. Díky stavbě této platformy je možné spustit více *Workerů*, které budou komunikovat se sítí Bitcoin a předávat relevantní informace *Masteru*. Logické rozdělení na dvě meta-komponenty umožňuje v budoucnu rozšířit platformu o odlišnou implementaci meta-komponenty *Worker*, která například bude využívat jiný přístup ke sběru dat z P2P sítě Bitcoin. Jednotlivé komponenty této platformy jsou zabalené v *Docker* kontejnerech a nasazení celé platformy je tedy velmi jednoduché a přímočaré, díky *Docker-compose*. Tyto meta-komponenty mohou být spuštěny na různých výpočetních strojích.

Worker úkolem této meta-komponenty je udržování spojení s uzly v P2P síti Bitcoin a sbírání metadat z jejich běhu. Tato data jsou dále předávána centrální meta-komponentě *Master*. Klíčovou součástí této meta-komponenty je oficiální *Bitcoin Core* klient, který je

ovládán skrz RPC rozhraní pomocí části zvané *Peer-Publisher*. Veškerá komunikace s okolními uzly je zachytávána pomocí programu *tcpdump*, který generuje *pcap* soubory, jež jsou následně zpracovávány komponentou pojmenovanou *Data-Analyzer*. Hlavním úkolem *Data-Analyzer* je z veškeré komunikace vybrat pouze relevantní data, popsané v předchozí sekci, a ty zaslat na *Master*. Celou platformu je možné horizontálně škálovat, a to spuštěním více instancí komponenty *Worker*.

Master úkolem této meta-komponenty je shromažďovat a především uchovávat nasbíraná data. V celé platformě existuje pouze a právě jeden *Master*. Klíčovým prvkem této soustavy je komponenta *API*, která představuje komunikační bod, kde jsou publikovány nashromážděné informace od jednotlivých *Workerů* a nebo samostatně běžících komponent typu *Peer-Publisher*. Komponenta *API* ukládá veškerá data do *Redis Cache* a to z následujících důvodů:

- V případě většího počtu paralelně běžících *Workerů* by docházelo k dlouhému čekání na dokončení vstupně výstupních operací, což by znatelně snižovalo škálovatelnost řešení.
- Normalizace a agregace nad daty uloženými v operační paměti je několika násobně rychlejší.

Data z této vyrovnávací paměti jsou v pravidelných intervalech zapisována do perzistentní databáze pomocí komponenty *Data Keeper*. Úkolem komponenty *WebGUI* je zobrazování analyzovaných dat v jednoduché webové aplikaci za pomoci nástroje *Grafana*.

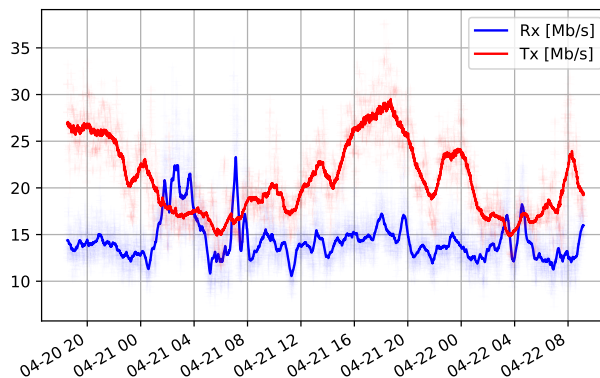
4. Výsledky platformy

V této sekci je popsán běh platformy po dobu již dvou měsíců včetně představení několika analýz nad nashromážděnými daty. Jelikož je tato platforma velmi nová, došlo v průběhu tohoto období k neočekávaným událostem, jako například k částečným výpadkům monitorování.

4.1 Běh platformy

Platforma *BiNMon* je v částečném provozu již od konce ledna a v úplném provozu od půlky února. Za dobu 60 dní bylo zpracováno celkem 12,76 TiB dat z Bitcoin sítě v podobě pcap souborů, což přibližně odpovídá 217,77 GiB dat za jeden den. Do databáze bylo uloženo 276,71 GiB dat, což je 4,61 GiB dat za jeden monitorovací den. Databáze obsahuje také indexy, které slouží pro rychlé vyhledávání a práci s daty. Indexy k uloženým datům tvoří přibližně stejně velkou část, konkrétně 240,35 GiB. Jsem si vědom, že indexy tvoří až příliš velkou část veškerých dat v databázi (přes 46%) a je zde prostor pro efektivnější indexaci dat.

V průběhu tohoto šedesáti denního období bylo sledováno také použití hardwarových zdrojů u jednotlivých komponent. Mezi nejnáročnější komponenty se řadí komponenta *Bitcoin* a *Data Analyzer*. Obě tyto komponenty jsou součástí meta-komponenty *Worker*. Oficiální klient *Bitcoin* se ukázal být velmi náročný na operační paměť. Pro přibližně 10000 otevřených spojení se sousedními uzly bylo potřeba přes 15 GiB operační paměti. *Data Analyzer* byla výpočetně nejnáročnější komponentou - v šedesáti denním sledovaném období spotřebovala 341,59 dní CPU času, což odpovídá 5,69 plně vytíženým procesorovým jádřům. Jedním z dalších sledovaných zdrojů byla i síťová aktivita. Každý den bylo meta-komponentou *Worker* v průměru přijato 143,96 GiB a odesláno 209,79 GiB dat. Průměrná rychlost přenosu dat pro příjem byla 14,31 Mb/s a pro odesílání byla 20,86 Mb/s. Ukázka rychlostí přenosu dat během několika hodin lze vidět na Obrázku 3. Odeslaných dat, je větší množství než přijatých a to z důvodu, že kromě komunikace se sousedními uzly v síti Bitcoin, jsou extrahovaná data zasílána na API, které je součástí *Master* meta-komponenty. Z výše získaných dat lze určit hardwarové parametry pro optimální běh *Workeru*, který



Obrázek 3. Celková síťová aktivita u meta-komponenty *Worker* v průběhu několika hodin.

monitoruje 10000 uzlů. Tyto parametry jsou následující:

- 24 procesorových jader
- 32 GiB operační paměti
- > 50 Mb/s síťová konektivita

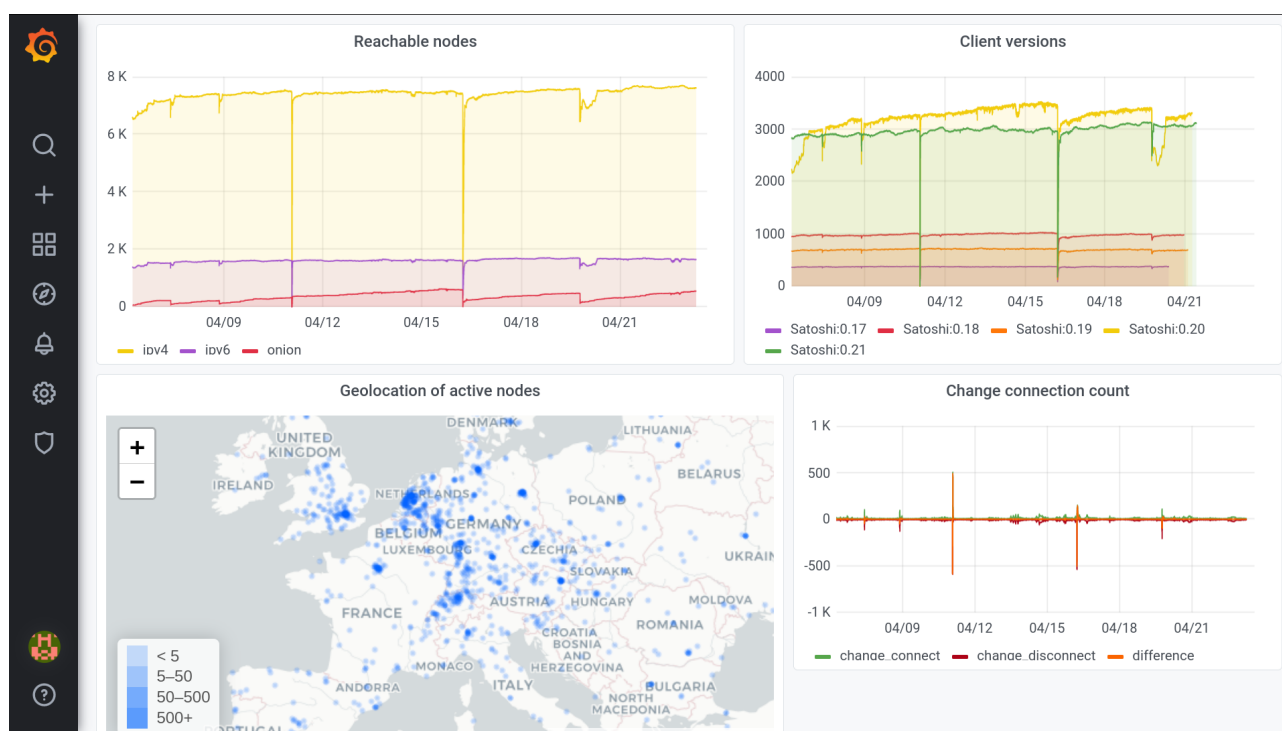
Nároky na hardware u meta-komponenty *Master* jsou přímo úměrné počtu běžících *Workerů*. Jelikož data z *API* jsou ukládána do *Redis Cache*, byl předpoklad, že úzkým místem ve škálování bude velikost operační paměti. V průběhu provozu platformy se však ukázalo, že spíše rostou nároky na síťovou konektivitu, a to by v případě velkého množství *Workerů* mohlo být úzkým místem. Každý *Worker* publikuje přibližně stejné množství dat, které musí být přeneseno na *Master*. V průměru jeden *Worker* publikoval 67,35 GiB dat za jeden monitorovací den, což v případě 100 běžících *Workerů* je 6,58 TiB dat, které musí být přeneseny za den. Ukázalo se, že *Master* meta-komponenta je schopna zpracovávat data až od patnácti paralelně běžících *Workerů*, a to s následnou konfigurací:

- 32 procesorových jader
- 64 GiB operační paměti
- 1 Gb/s síťová konektivita

V průběhu monitorovacího období došlo ke kompletnímu zastavení celé monitorovací platformy, a tedy monitorování, dne 13.3. 2021 ve 13:00 a to z důvodů údržby. V tomto čase údržby bylo například navýšeno množství operační paměti na stroji, kde běžel *Worker*, jelikož původních 24 GiB nebylo dostačujících.

4.2 Prezentace nashromážděných dat

Součástí platformy *BiNMon* je také jednoduchá webová aplikace sloužící pro elementární zobrazení nashromážděných dat. Ukázka nástěnky s pár grafy lze vidět na Obrázku 4.



Obrázek 4. Nástěnka s grafy a mapou, prezentující nashromážděné data.

Jako první se nabízí data o počtu aktivních uzlů v síti Bitcoin v průběhu času. Část grafu znázorňující tento vývoj lze vidět vlevo nahoře na Obrázku 4. Jsou zaznamenávány počty uzlů, připojených přes IPv4, IPv6 a také uzly připojené přes anonymní síť Tor (onion). Při dvouměsíčním monitorování bylo zpozorováno, že počet dostupných uzlů v síti je stabilní a přibližně se pohyboval kolem následujících hodnot: 7500 – 8000 uzlů v IPv4 síti, 1400 – 1600 uzlů v síti IPv6, a 300 – 400 uzlů v síti Tor. Bylo zjištěno, že hledání nových uzlů v síti Tor je nesložitější a také nejdéle trvající činností. Při obnovení monitorování, po plánovaném výpadku, bylo vytvořeno spojení s 85% všech dostupných uzlů nacházejících se v IPv4 a IPv6 sítích v prvních 30 minutách. Nicméně navázání spojení s 85% uzlů v síti Tor trvalo skoro 6 dní.

Tato platforma také shromažďuje různé metadata o dostupných uzlech. Jedním z takových zajímavých dat, jsou například informace o verzích klientských programů. Na Obrázku 4 vpravo nahoře lze vidět absolutní zastoupení pěti nejpoužívanějších verzí Bitcoin Core klientů. Nejnovější verze *Satoshi:0.21* vydaná 14.1. 2021 se stává každým dnem používanější verzí v síti Bitcoin. Na začátku monitorovacího období pouze 1500 uzlů běželo s touto novou verzí Bitcoin Core klienta. Po dvou měsících shromažďování dat vidíme, že s touto nejnovější verzí běží 3000 uzlů. Díky nepřetržitému sledování sítě Bitcoin naše platforma obsahuje informace o čase, kdy jednotlivé uzly přešli na jinou verzi klientského softwaru, a jak dlouho

například trval výpadek.

V neposlední řadě tato platforma zobrazuje i geografické rozložení Bitcoin uzlů na mapě světa. Na Obrázku 4 vlevo dole lze vidět rozložení uzlů na mapě Evropy. Z nashromážděných dat lze tvrdit, že téměř 73% všech veřejně běžících, dostupných uzlů sítě Bitcoin se nachází v oblastech Severní Ameriky a západní Evropy.

5. Závěr

Cílem této práce bylo implementovat platformu pro shromažďování a prezentaci relevantních dat z peer-to-peer sítě Bitcoin. Další očekávanou vlastností této platformy byla její snadná škálovatelnost a případná budoucí rozšiřitelnost.

Autor úspěšně navrhl a také implementoval tuto platformu se zamýšlenými cíli. Nástroj je navržen velmi modulárně, což umožňuje snadnou rozšiřitelnost a škálovatelnost tohoto řešení. Oproti existujícím řešením odpadá nutnost zasahovat do implementace monitorovacího nástroje, jelikož BiNMon využívá existujícího Bitcoin Core klienta pro komunikaci s P2P sítí. Celkovou nevýhodou však tohoto řešení oproti existujícím pracím je mnohem větší náročnost na hardwarové zdroje zařízení, jako je velikost operační paměti RAM a počet výpočetních jader procesoru.

Funkčnost nástroje byla otestována v reálném prostředí a po dobu dvou měsíců shromažďoval data, která byla podrobena analýze a bylo například zjištěno, že počet dostupných uzlů v síti je poměrně stabilní a

pohybuje se kolem 9600 – 10000.

Data získaná z nástroje BiNMon mohou sloužit výzkumným pracovníkům k dalšímu zkoumání kryptoměny Bitcoin a tedy tato platforma může sloužit jako zdroj dat pro další vědecké práce. Možným rozšířením tohoto nástroje může být například implementace nových pohledů nad daty, které by mohly odhalit nové souvislosti.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především panu Ing. Vladimíru Veselému, Ph.D. za jeho čas a cenné rady při vedení této práce.

Literatura

- [1] Sean Foley, Jonathan R Karlsen, and Tālis J Putniņš. Sex, Drugs, and Bitcoin: How Much Illegal Activity Is Financed through Cryptocurrencies? *The Review of Financial Studies*, 32(5):1798–1853, 04 2019.
- [2] Philip Koshy, Diana Koshy, and Patrick McDaniel. An analysis of anonymity in bitcoin using p2p network traffic. In *International Conference on Financial Cryptography and Data Security*, pages 469–485. Springer, 2014.
- [3] Philip Koshy. Coinseer: A telescope into bitcoin, 2013.
- [4] Till Neudecker. Characterization of the bitcoin peer-to-peer network (2015-2018), 2019.
- [5] Andrej Zaujec. Cryptocurrency node monitoring, 2020.
- [6] Peter Todd Matt Corallo. Bip 0111: Node_bloom service bit. online, 2015.