ELEKTROTEHNIŠKI VESTNIK 84(5): 253-258, 2017
IZVIRNI ZNANSTVENI ČLANEK

Rudarjenje bitcoinov s podatkovno pretokovnimi računalniki Maxeler

Rok Meden, Anton Kos

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: anton.kos@fe.uni-lj.si

Povzetek. »Rudarjenje bitcoinov« je pomemben sestavni del prvega decentraliziranega plačilnega omrežja Bitcoin. »Rudarji« namreč s potrjevanjem »nakazil bitcoin« varujejo omrežje Bitcoin in za nagrado prejemajo delež »digitalnih kovancev« bitcoinov. Rudarjenje bitcoinov je ponavljajoč se in visokoparalelen računski proces, ki je zelo primeren za vzporedno računanje. V tem članku predstavljamo rudarjenje bitcoinov s podatkovno pretokovnimi računalniki Maxeler. Našo podatkovno pretokovno aplikacijo za rudarjenje bitcoinov smo preizkusili na dveh podatkovno pretokovnih računalnikih Maxeler, modela MAX2336B (MAX2B) in MAX4848A (MAIA), in v primerjavi z navadnimi večjedrnimi procesorji dosegli do 102-kratne pohitritve računanja in do 256-krat višjo energijsko učinkovitost pri rudarjenju bitcoinov. Podatkovno pretokovni računalniki Maxeler se sicer ne morejo primerjati s specializiranimi vezji ASIC za rudarjenje kriptovalut, ki so vsaj 1000-krat hitrejša in vsaj 100-krat energijsko učinkovitejša; se pa lahko podatkovno pretokovni računalniki Maxeler reprogramirajo za druga računska opravila, medtem ko vezja ASIC za rudarjenje kriptovalut po navadi zastarijo v nekaj mesecih.

Ključne besede: bitcoin, kriptovaluta, rudarjenje, podatkovno pretokovno računanje, Maxeler

Bitcoin Mining Using Maxeler Dataflow Computers

"Bitcoin mining" is an important and integral part of Bitcoin, the first decentralized payment network. "Miners" secure the Bitcoin network by confirming "bitcoin transactions" and in return they receive a certain amount of "digital coins" bitcoins. Bitcoin mining is a repetitive and highly parallel process, which makes it suitable for parallel computing. In this paper we present dataflow computing with Maxeler dataflow computers. We implemented and tested our own dataflow bitcoin miner on two Maxeler dataflow computers MAX2336B (MAX2B) and MAX4848A (MAIA), and achieved speedups of up to 102 times and up to 256 times higher energy efficiency compared to general multi-core CPUs. The Maxeler dataflow computers cannot compete against specialized ASIC bitcoin mining rigs that are at least 1000 times faster and at least 100 times more energy-efficient; but the Maxeler dataflow computers can be reprogrammed for other computational tasks while the ASIC mining rigs usually become outdated in only a few months.

Keywords: bitcoin, cryptocurrency, mining, dataflow computing, Maxeler

1 UVOD

Prve kriptovalute (npr. B-money, Bit Gold, digicash, hashcash) so nastale že v 90. letih prejšnjega stoletja. Načeloma so bile podprte z nacionalno valuto ali dragoceno kovino (npr. zlato, srebro), izdajale pa so jih neuradne centralne avtoritete (kot banke). Čeprav so te kriptovalute delovale, so bile centralizirane in zato lahke tarče napadalcev in zaskrbljenih oblasti.

Oktobra leta 2008 je psevdoanonimni avtor Satoshi Nakamoto objavil publikacijo »Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System« [1], v kateri je Bitcoin predstavljen kot popolnoma decentraliziran sistem digitalnega denarja, ki se ne zanaša na nobeno centralno avtoriteto ali kontrolno točko za izdajanje valute, potrjevanje in poravnavo nakazil. Ena ključnih novosti, ki jih je prinesel Bitcoin, je računsko zahtevni proces rudarjenja, v katerem lahko sodeluje vsakdo s prilagojeno računalniško opremo za rudarjenje (angl. mining rig). V zameno za uspešno potrjevanje nakazil bitcoin v decentraliziranem omrežju Bitcoin pa prejme nagrado v »digitalnih kovancih«, bitcoinih.

Strojna rudarska oprema za rudarjenje bitcoinov se je zelo hitro razvila v samo nekaj letih obstoja Bitcoina [2]. Na začetku (2009) se je sprva rudarilo z namiznimi in prenosnimi računalniki (procesorji oz. centralnoprocesne enote, CPE), v letih 2010 in 2011 pa se je že rudarilo z igralnimi grafičnimi karticami

Prejet 2. oktober, 2017
Odobren 30. november, 2017

(grafičnoprocesne enote, GPE), ker so te namenjene izvajanju ponavljajočega se in vzporednega računanja in so se zato izkazale za okoli 50- do 100-krat hitrejše in energijsko učinkovitejše pri rudarjenju bitcoinov kot navadni procesorji. Uveljavilo se je tudi rudarjenje z vezji FPGA (angl. Field-Programmable Gate Array), ki so sicer bila približno enako hitra kot igralne grafične kartice, toda okoli 5-krat energijsko varčnejša. To je bilo dovolj za razvoj industrije rudarjenja bitcoinov; nastale so se prve »farme« za rudarjenje bitcoinov z več sto vezji FPGA. Leta 2013 so sledila prva specializirana vezja ASIC (angl. Application-Specific Integrated Circuit) za rudarjenje bitcoinov, ki so se izkazala za vsaj 1000-krat hitrejša in energijsko učinkovitejša pri rudarjenju bitcoinov kot GPE in vezja FPGA. Zato se od leta 2013 za rudarjenje bitcoinov uporabljajo le še specializirana vezja ASIC.

Kljub temu smo izvedli podatkovno pretokovno aplikacijo za rudarjenje bitcoinov na dveh podatkovno pretokovnih računalnikih Maxeler (modela MAX2B in MAIA). Svojo aplikacijo smo nato primerjali z že obstoječo optimizirano opremo za rudarjenje bitcoinov (CPE, GPE, ASIC) in ovrednotili pridobljene rezultate.

2 RUDARJENJE BITCOINOV

2.1 Samostojno ali skupinsko rudarjenje?

»Rudarji bitcoin« so prostovoljci s prilagojeno računalniško opremo za rudarjenje kriptovalut, ki zbirajo in potrjujejo nakazila bitcoin uporabnikov v omrežju Bitcoin. V zameno za uspešno potrjevanje nakazil prejmejo nagrado v bitcoinih na svoje bitcoin naslove in tako varujejo omrežje Bitcoin.

Na začetku obstoja omrežja Bitcoin (2009-2010) se je zlahka rudarilo samostojno, dandanes pa je težavnost rudarjenja narasla na tako visoko raven, da se rudarji raje pridružijo rudarskim bazenom (angl. mining pools). Tako rudarji združujejo svoje računske moči (hitrost zgoščevanja, angl. hash rate) in si razdelijo morebitne nagrade v bitcoinih.

Oprema za rudarjenje kriptovalut lahko komunicira z rudarskim bazenom prek enega od treh obstoječih »rudarskih protokolov« (angl. mining protocols): Getwork, GetBlockTemplate in Stratum [3]. Rudarji ustvarjajo »deleže« (angl. shares), ki morda ne zadostijo globalni tarči omrežja Bitcoin, zadostijo pa lažji lokalni tarči rudarskega bazena. Rudarski bazen na ta način prepozna rudarjevo dejavnost in računa prispevano računsko moč (hitrost zgoščevanja) njegove rudarske opreme. Vsake toliko časa se ustvari takšen delež, ki zadosti lažji lokalni tarči rudarskega bazena in težji globalni tarči omrežja Bitcoin. Iz tega deleža se sestavi blok z nakazili in če se ta doda na rep verige blokov (angl. blockchain), zmagajo vsi sodelujoči rudarji v zmagovalnem rudarskem bazenu. Po nekaj potrditvah bloka si lahko sodelujoči rudarji porazdelijo nagrado v bitcoinih.

2.2 Glava bloka

Glava bloka je 640 bitov velika podatkovna struktura, ki sestoji iz šestih polj (tabeli 1 in 2) in je ključni sestavni del bloka z nakazili; njena dvojna zgoščena vrednost mora biti namreč manjša od globalne težavnostne meje omrežja Bitcoin oz. se mora začeti z določenim številom ničel.

Tabela 1: Struktura glave bloka [2]

Polje	Pomen	Velikost
Različica	Številka različice bloka	32 bitov
Zgoščena vrednost glave prejšnjega bloka	zgoščena vrednost glave bloka	256 bitov
Merklov koren	Zgoščena vrednost vseh nakazil v bloku	256 bitov
Časovni žig	časovni žig v sekundah od 1. 1. 1970, 00:00 dalje	32 bitov
Tarča	Trenutna tarča v kompaktnem formatu	32 bitov
Enkratno število	Spremenljivo enkratno število	32 bitov

Tabela 2: Primer glave bloka

Polje	Vrednost v šestnajstiškem številskem sistemu
Različica	`01000000`
Zgoščena vrednost glave prejšnjega bloka	`81cd02ab7e569e8bcd9317e2fe99f2de44d49ab2b8851ba4a308000000000000`
Merklov koren	`e320b6c2fffc8d750423db8b1eb942ae710e951ed797f7affc8892b0f1fc122b`
Časovni žig	`c7f5d74d`
Tarča	`f2b9441a`
Enkratno število	`42a14695`

Edini spremenljivi del glave bloka je 32-bitno celo »enkratno število« (angl. nonce, number-once), ki lahko zavzame vrednosti od 0 (`00000000`) do vključno 2^{32}-1 (`ffffffff`); v tem primeru `42a14695`. Če podano glavo bloka zgostimo dvakrat z zgoščevalnim algoritmom SHA-256, dobimo 256-bitno zgoščeno vrednost
`1dbd981fe6985776b644b173a4d0385ddc1aa2a829688d1e0000000000000000`.
Tej zgoščeni vrednosti je treba spremeniti zaporedje bajtov (angl. endianness), in sicer od zaporedja najpomembnejših bitov (angl. big-endian) v zaporedje najmanj pomembnih bitov (angl. little-endian). Spremenjena zgoščena vrednost glave bloka, to je
`00000000000000001e8d6829a8a21adc5d38d0a473b144b6765798e61f98bd1d`,
se zdaj lahko primerja z 256-bitno tarčo, npr.
`00000000000044b9f20000000000000000000000000000000000000000000000`.
Ker je dvojna zgoščena vrednost glave bloka z enkratnim številom `42a14695` manjša od tarče, je glava bloka s tem enkratnim številom primerna za sestavo bloka z nakazili (tabela 3).

Tabela 3: Struktura bloka z nakazili [2]

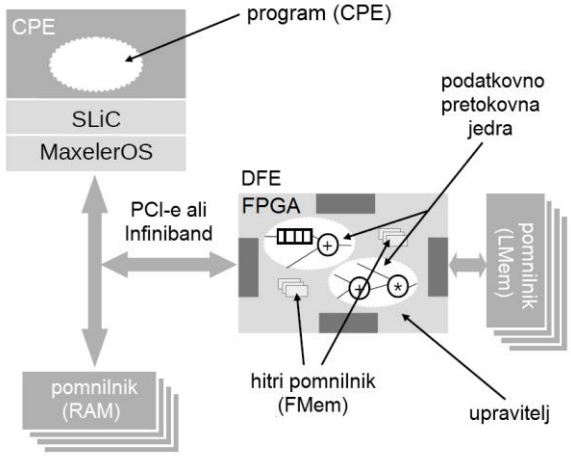
Polje	Pomen	Velikost
Velikost bloka	Velikost bloka v bajtih	32 bitov
Glava bloka	Glava bloka z ustreznim enkratnim številom	640 bitov
Število nakazil	Število nakazil v bloku	8–72 bitov
Nakazila	Seznam nakazil	Spremenljiva

3 PODATKOVNO PRETOKOVNO RAČUNANJE

Višanje delovne frekvence procesorjev se je ustavilo že pred dobrim desetletjem zaradi izjemno povečane porabe električne energije in proizvedene toplote. Zato se raziskuje nov pristop za obdelavo velikih količin podatkov; to je vzporedno računanje. Podatkovno pretokovno računanje s podatkovno pretokovnimi računalniki Maxeler je ena od oblik vzporednega računanja, kjer podatki tečejo od vhodov do izhodov skozi morje aritmetičnih enot, kjer se izvajajo preproste računske operacije.

3.1 Podatkovno pretokovni računalniki

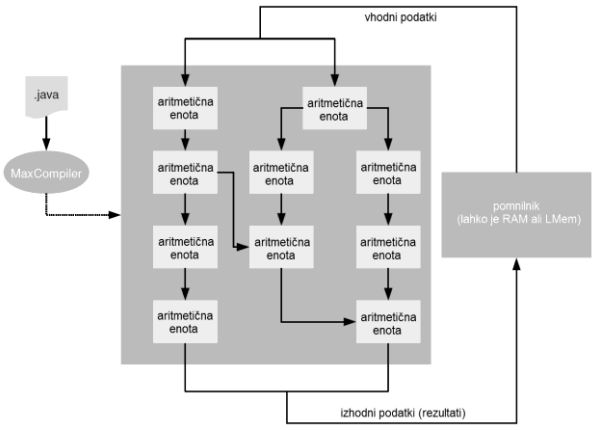
Podatkovno pretokovni računalniki (angl. dataflow engines, DFE) so sestavni del računalniške delovne postaje in so namenjeni pospeševanju računskih algoritmov (slika 1). CPE računalniške delovne postaje poganja navadne operacije in programe s kontrolnim pretokom (angl. control flow), medtem ko DFE izvaja podatkovno pretokovno računanje (angl. dataflow computing).



Slika 1: Arhitektura podatkovno pretokovnega računalnika [4]

DFE sestoji iz integriranega vezja FPGA in več vrst pomnilnikov; hitri pomnilnik (angl. Fast Memory, FMem) se nahaja neposredno na čipu in lahko shrani nekaj megabajtov podatkov z zelo hitrim dostopom, pomnilnik z veliko zmogljivostjo (angl. Large Memory, LMem) pa se nahaja zunaj čipa in lahko shrani nekaj gigabajtov podatkov.

Struktura DFE že sama po sebi pomeni računanje, zato ni potrebe po navodilih (slika 2). Navodila so namreč zamenjana z aritmetičnimi enotami, ki so razporejene v prostoru in povezane v primerno strukturo za določeno računsko opravilo (podatkovno pretokovni graf, angl. dataflow graph). Ker ni navodil, so računski viri DFE popolnoma predani računanju. DFE tako procesira velike količine podatkov, medtem ko CPE poganja redke operacije in nadzira komunikacijo z DFE.



Slika 2: Vzporedno podatkovno pretokovno računanje [4]

Vsaka aritmetična enota izvaja samo eno vrsto računske operacije (npr. seštevanje, množenje, premik bitov) in je preprosta, zato lahko ena DFE vsebuje več tisoč aritmetičnih enot. V nasprotju z zaporednim računanjem s kontrolnim tokom, kjer se operacije izvajajo ob različnih časih na istih funkcionalnih enotah (»računanje v času«), je podatkovno pretokovno računanje prostorsko porazdeljeno na čipu (»računanje v prostoru«).

4 IZVEDBA

Podatkovno pretokovna aplikacija za rudarjenje bitcoinov je bila izvedena in preizkušena na dveh podatkovno pretokovnih računalnikih Maxeler; MAX2B in MAIA (tabeli 4 in 5). Aplikacija sestoji iz dveh delov (slika 3):

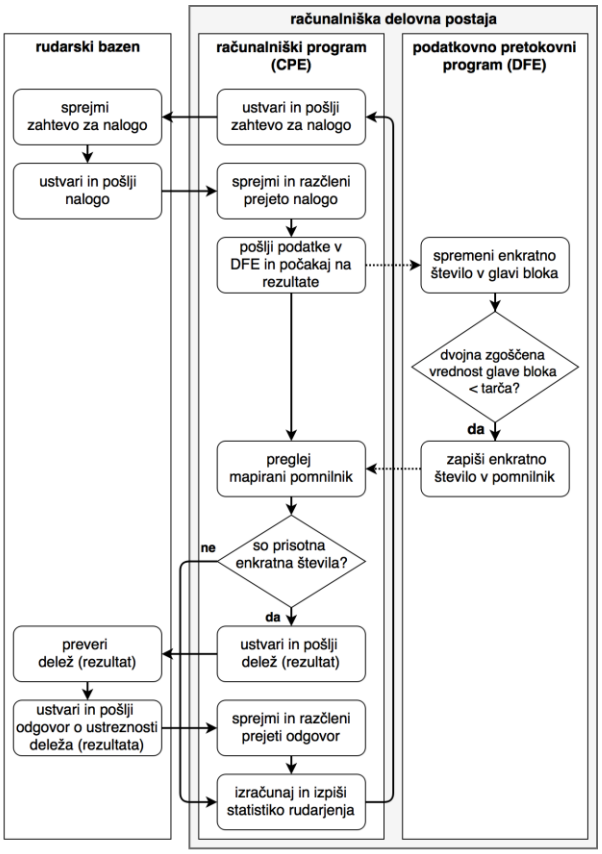
- računalniški program s kontrolnim pretokom, ki je napisan v programskem jeziku C in ga izvaja navaden procesor, skrbi za komunikacijo med podatkovno pretokovnim računalnikom in izbranim rudarskim bazenom;
- podatkovno pretokovni program, ki je napisan v programskem jeziku MaxJ (različica Jave) in ga izvaja DFE, izvaja računski algoritem (spreminjanje enkratnega števila v glavi bloka, dvojno zgoščevanje glave bloka z zgoščevalnim algoritmom SHA-256 in primerjanje zgoščenih vrednosti s tarčo).

Tabela 4: Lastnosti DFE in pripadajočih delovnih postaj

	MAX2B	MAIA
FPGA	Virtex-5 XC5VLX330T	Altera Stratix V 5SGSMD8N2F45C2
LMem	12 GB DDR2	48 GB DDR3
Logična vrata	207360	262400
Vpogledne tabele (LUT)	207360	/
Primarni flip-flopi (FF)	207360	524800
Sekundarni flip-flopi (FF)	/	524800
Množilniki	192 (25x18)	3926 (18x18)
Digitalni signalni procesorji (DSP)	192	1963
Blokovni pomnilnik	648 (BRAM18)	2567 (M20K)
CPE delovne postaje	Intel Core 2 Quad Q9400, 2.66 GHz	Intel Core i7-6700K, 4.00 GHz
Operacijski sistem	Linux CentOS 6.5	Linux CentOS 6.9
PCI Express	x4	x8
Različica MaxIDE	2013.3	2015.2

Tabela 5: Uporabljeni računski viri DFE (izvedba podatkovno pretokovne aplikacije za rudarjenje bitcoinov

	MAX2B	MAIA
Cevovodi	3	7
Stabilna frekvenca	95 MHz	210 MHz
Pričakovana hitrost zgoščevanja	285 Mhash/s	1470 Mhash/s
Dejanska hitrost zgoščevanja	282 Mhash/s	1430 Mhash/s
Logična vrata	199295 / 207360 (96.11%)	225083 / 262400 (85.78%)
Vpogledne tabele (LUT)	178919 / 207360 (86.28%)	/
Primarni flip-flopi (FF)	169889 / 207360 (81.93%)	387413 / 524800 (73.82%)
Sekundarni flip-flopi (FF)	/	49456 / 524800 (9.42%)
Množilniki	0 / 192 (0.00%)	0 / 3926 (0.00%)
Digitalni signalni procesorji (DSP)	0 / 192 (0.00%)	0 / 1963 (0.00%)
Blokovni pomnilnik	68 / 648 (10.49%)	1268 / 2567 (49.40%)

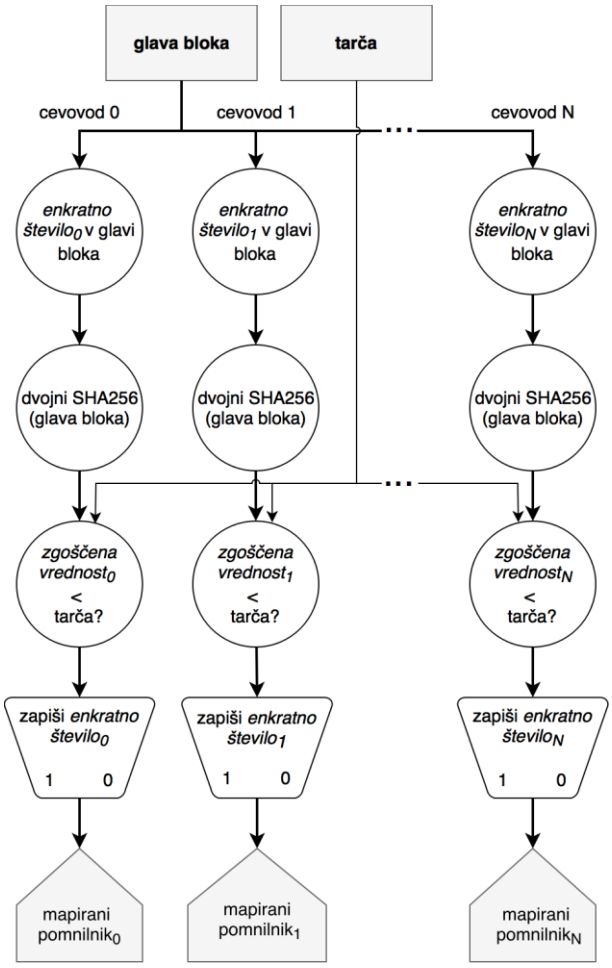


Slika 3: Delovanje podatkovno pretokovne aplikacije za rudarjenje bitcoinov, ki je sestavljena iz dveh delov (program za CPE in program za DFE)

Podatkovno pretokovno računanje se izvaja po korakih v časovnih enotah, imenovanih »tick«. Na vsak »tick« se namreč vhodni podatki pomaknejo od ene aritmetične enote do naslednje in so korak bliže izhodu.

Aplikacija je realizirana z več cevovodi tako, da se hkrati preizkusi več enkratnih števil na posamezen »tick« (slika 4). Zato je dosežena hitrost zgoščevanja *hr* približek zmnožku stabilne frekvence f in števila cevovodov N (tabela 5), kot prikazuje enačba (1).

$$hr\left[\frac{hash}{s}\right] \approx f[Hz] * N \quad (1)$$



Slika 4: Abstrakcija podatkovno pretokovnega računanja z DFE; preizkušanje več enkratnih števil na posamezno časovno enoto (»tick«)

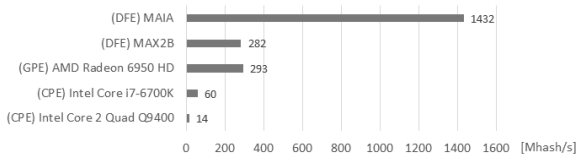
5 MERITVE IN REZULTATI

Najprej smo izmerili hitrosti zgoščevanja in električne moči računalniške opreme za rudarjenje bitcoinov (tabela 6), nato pa smo na podlagi pridobljenih meritev izračunali energijsko učinkovitost preizkušenih strojnih komponent.

Tabela 6: Konfiguracije preizkušene računalniške opreme za rudarjenje bitcoinov.

Strojna komponenta	Programska oprema
CPE Intel 2 Core Quad Q9400, 2.66 GHz	Cpuminer - minerd 2.4.5 (odprtokodna)
CPE Intel i7-6700K, 4.00 GHz	Cpuminer - minerd 2.4.5 (odprtokodna)
GPE AMD Radeon 6950 HD	Cgminer 3.7.2 (odprtokodna)
DFE MAX2336B	Lastna izvedba
DFE MAX4848A	Lastna izvedba

Izmerjene povprečne hitrosti zgoščevanja strojnih komponent med rudarjenjem bitcoinov so podane na sliki 5 in medsebojno primerjane v tabeli 7.



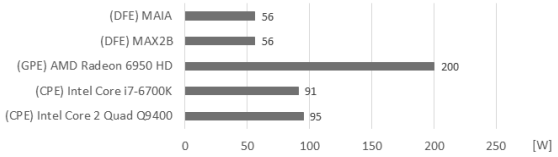
Slika 5: Izmerjene hitrosti zgoščevanja preizkušenih strojnih komponent med rudarjenjem bitcoinov (več je bolje)

Tabela 7: Faktorji hitrosti zgoščevanja med preizkušenimi strojnimi komponentami (več je bolje)

	MAIA	MAX2B
Proti MAX2B	5	/
Proti GPE	5	1
Proti CPE (i7-6700K)	24	5
Proti CPE (Q9400)	102	20

Delovne električne moči strojnih komponent med rudarjenjem bitcoinov so podane na sliki 6 in medsebojno primerjane v tabeli 8.

Električne moči preizkušenih DFE so bile pri MAX2B izmerjene z merilnikom porabe električne energije VOLTCRAFT Energy Logger 4000 in pri MAIA s terminalnim ukazom v operacijskem sistemu Linux CentOS: *maxtop –v*. Električne moči navadnih procesorjev (CPE) in igralne grafične kartice (GPE) pa so podane kot teoretične vrednosti maksimalne termične moči (angl. Thermal Design Power, TDP), ki so navedene v specifikacijah strojnih komponent in so približne izmerjenim vrednostim [5].



Slika 6: Izmerjene (DFE) in teoretične (CPE in GPE) električne moči preizkušenih strojnih komponent med rudarjenjem bitcoinov (manj je bolje)

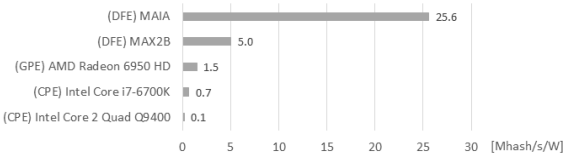
Tabela 8: Faktorji električnih moči med preizkušenimi strojnimi komponentami (manj je bolje)

	MAIA	MAX2B
Proti MAX2B	1	/
Proti GPE	0,28	0,28
Proti CPE (i7-6700K)	0,62	0,62
Proti CPE (Q9400)	0.59	0.59

Energijsko učinkovitost preizkušenih strojnih komponent pri rudarjenju bitcoinov smo izračunali kot razmerje med hitrostjo zgoščevanja in električno močjo po enačbi (2)

$$eff\left[\text{hash/s/W}\right] = \frac{hr\left[\text{hash/s}\right]}{P\left[\text{W}\right]}, \qquad (2)$$

kjer je *eff* energijska učinkovitost, *hr* hitrost zgoščevanja in *P* električna moč izbrane računalniške opreme za rudarjenje. Izračunane energijske učinkovitosti posameznih strojnih komponent pri rudarjenju bitcoinov so podane na sliki 7 in primerjane v tabeli 9.



Slika 7: Izračunane energijske učinkovitosti preizkušenih strojnih komponent med rudarjenjem bitcoinov (več je bolje)

Tabela 9: Faktorji energijske učinkovitosti med preizkušenimi strojnimi komponentami (več je bolje)

	MAIA	MAX2B
Proti MAX2B	5	/
Proti GPE	17	3
Proti CPE (i7-6700K)	37	7
Proti CPE (Q9400)	256	50

DFE MAIA se je zelo izkazala v primerjavi s preostalo preizkušeno računalniško opremo v vseh treh preizkusnih kategorijah (hitrost zgoščevanja, delovna električna moč in energijska učinkovitost). Toda primerjava le-te s specializiranim vezjem ASIC za rudarjenje bitcoinov, Antminer S7 [6], pokaže izjemno veliko razliko v korist vezja ASIC (tabela 10).

Tabela 10: Primerjava med DFE MAIA in ASIC Antminer S7

	MAIA	Antminer S7	Faktor
Hitrost zgoščevanja	1,43 Ghash/s	4,73 Thash/s	3303
Električna moč	56 W	1300 W	23
Energijska učinkovitost	25,6 Mhash/s/W	3,64 Ghash/s/W	142

6 SKLEP

V članku smo predstavili našo lastno izvedbo aplikacije za rudarjenje bitcoinov in jo preizkusili na dveh podatkovno pretokovnih računalnikih Maxeler, MAX2B in MAIA. V primerjavi s CPE in GPE smo dosegli precejšnje pospešitve računanja in precej večjo energijsko učinkovitost.

Žal takšen način rudarjenja bitcoinov že nekaj časa ni več dobičkonosen. To je posledica uporabe specializirane rudarske opreme ASIC, ki je dvignila težavnost rudarjenja na nepredstavljivo visoko raven in so se zato amaterski rudarji premaknili na rudarjenje manj znanih alternativnih kriptovalut (»altcoinov«), npr. litecoin in ethereum. Prišla je tudi centralizacija omrežja Bitcoin; okoli 75 % celotne računske moči v omrežju Bitcoin namreč prihaja iz Kitajske, kar nasprotuje ključni ideji Bitcoina – decentralizaciji.

Podatkovno pretokovni računalniki Maxeler sicer ne bodo nikoli presegli specializiranih vezij ASIC v hitrosti računanja in energijski učinkovitosti; jih je pa mogoče reprogramirati za druga računska opravila, medtem ko vezja ASIC za rudarjenje bitcoinov po navadi »zastarijo« v nekaj mesecih.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se ekipi Maxeler Technologies v Beogradu za dostop do podatkovno pretokovnega računalnika Maxeler MAIA za preizkusne namene.

LITERATURA

[1] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," 2008. [na spletu]. Dosegljivo na: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf. [Dostopano: 4.11.2016].

[2] A. Antonopoulos, *Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies*. Sebastopol: O'Reilly Media, 2015.

[3] "Developer guide - Bitcoin," 2009. [na spletu]. Dosegljivo na: https://bitcoin.org/en/developer-guide. [Dostopano: 4.11.2016].

[4] Multiscale Dataflow Programming, Maxeler Technologies, 2015.

[5] R. Meden, *Rudarjenje bitcoinov s podatkovno pretočnim računalnikom Maxeler : magistrsko delo*, Ljubljana, [R. Meden], 2017.

[6] "AntMiner S7 Bitcoin SHA-256 Mining Rig overview - Reviews & Features | CryptoCompare.com," [na spletu]. Dosegljivo na: https://www.cryptocompare.com/mining/bitmain/antminer-s7-miner/ [Dostopano: 4.11.2016].

Rok Meden je diplomiral leta 2013 in magistriral leta 2017 na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani Univerze v Ljubljani. Njegova raziskovalna zanimanja vključujejo globoki splet, kriptovalute in podatkovno pretokovno računanje s sistemi Maxeler.

Anton Kos je doktoriral leta 2006 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Zaposlen je kot asistent z doktoratom na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Njegove raziskovalne in pedagoške dejavnosti vključujejo sisteme z biološko povratno vezavo, informacijske sisteme, komunikacijske protokole, varnost informacijsko-komunikacijskih sistemov, kakovost storitev in podatkovno pretokovno računalništvo.