

# FRØÐI

1 / 2018

23. ÁRG.

KR. 48,-

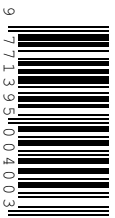
## BYGDI STÓRTELDU Í GARASJUNI

Tummas Andreasen lesur á Náttúruvísindadeildini  
á Fróðskaparsetrinum

AVBJÓÐING HJÁ ÚTLENDINGUM  
AT FÓTA SÆR Í FØROYUM

NÝTT FØROYSKT  
KRABBASLAG

EINGIN SLEPPUR  
UNDAN LAKSALÚS



# Raspberry Pi-grundaða Stórteldan



**Tummas Andreassen**  
quazer55@gmail.com  
BSc í KT-verkfrøði



**Svein-Ole Mikalsen**  
SveinOM@setur.fo  
Professari í mýlskari lívfrøði



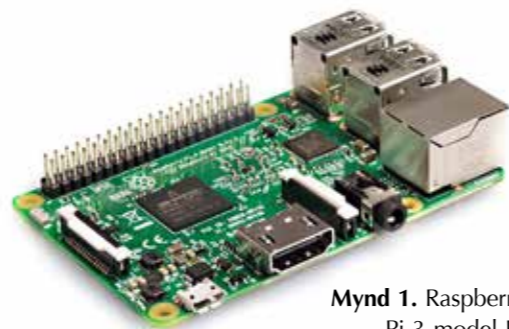
**Qin Xin**  
QinX@setur.fo  
Professari í teldufrøði

Í vísindaligum og vinnuligum høpi verður alsamt neyðugari at kunna greina stórar mongdir av dátum. Vanligt hevur verið at greina slíkar dátumongdir við klasa-sambundnum superteldum ella stórteldum, men tað er tungt hjá smáum stovnum við avmarkaðari fíggjarorku at útvega og koyra slíkar teldur. Í fakkókmmentunum hevur ein lítil og bílig Raspberry Pi grundað stórtelda fyrr verið lýst [1, 2]. Vit hildu tað vera áhugavert at royna at gera eina slíka teldu við tí fyri eyga, at hon skuldi kunna arbeiða við stórum mongdum av dátum, serliga lívkunnindi (bioinformatics). RPi-grundaða superteldan hjá okkum er til dømis gjørd við tí fyri eyga, at hon skal kunna gera greiningar av umfatandi DNA-raðfylgjum. Av tí at kostnaðurin fór at vera lutfalsliga lágur, kundi harafturat borið til at gjørt fleiri teldur og riggað hvørja út til at gera ávís sløg av greiningum.

## Hvat er Raspberry Pi og hví er fyrbrigdið áhugavert?

Raspberry Pi (RPi) er ein bílig telda til stóddar sum eitt gjaldskort og varð upprunaliga sniðgivin í Onglandi og sett á marknaðin í 2012. Fyrsta ættarliðið (RPi 1 Model B) hevur bara ein stak-kjarnu processara upp á 700MHz.

Síðani eru fleiri nýggjar útgávur komnar, m.a. vórðu RPi 2, RPi Zero og RPi 3 settar á marknaðin ávikavist í februar 2015, november 2015 og februar 2016. Í okkara verkætlan brúktu vit eina RPi 3 Model B (1. mynd). Ein RPi 3 Model B kostaði, tá ið henda grein varð skrivað, 240 dkr. Tólbúnaðurin í RPi 3 Model B er tilskilaður í 1. talvu niðanfyrri.



**Mynd 1.** Raspberry Pi 3 model B.

Ein RPi-grundað stórtelda hevur ymsar fyrimunir fram um vanligar klasa-grundaðar stórteldur, eitt nú:

- Hon kostar lítið.
- Orkunýtsla til dátuvíðgerð er lág.

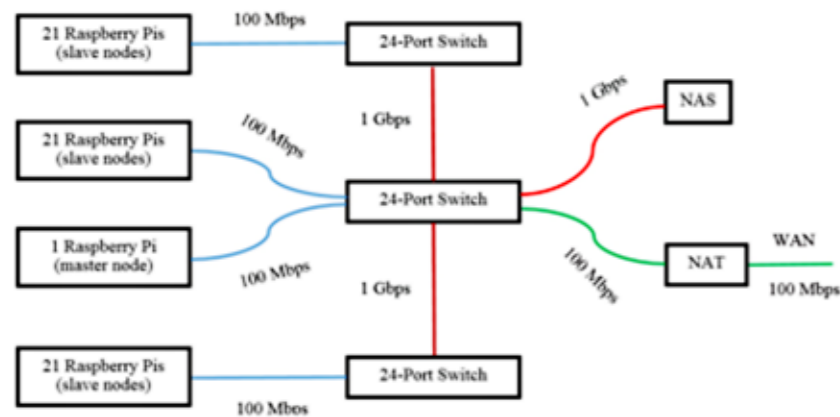
- Umhvørviskøling ber í sær uppaftr lægri orkunýtslu. Í háavrikteldum ger ein stórir partur av orkuni hita og tískil krevst nógv køling. Men sjálvst stórar RPi-skipanir við mongum eindum krevja bara einfalda og bíliga køling.
- Við tað at hon vigar lítið, er høglig í stódd og hevur eina passiva køliskipan ber til at flyta telduna ímillum. Teldan kann enntá snikkast til at passa inn í tilskilað høli.
- Klasin kann gerast í ymsum sniði, eitt nú við undirklasum, alt eftir, hvat ætlanin er at brúka hann til.
- Stigbæri (scalability). Klasin kann setast saman úr heilt fáum RPi-um, men til ber at skoyta fleiri hundrad inni afturat.

Hesir eginleikar hava við sær, at RPi-ir hóska væl til at gera klasar av teldum, ið kunnu útinna fleiri verk í senn í undirvísingar-, granskningar- ella enntá

í vinnuligum høpi. Fyri ein lágan byrjanarkostnað fæst háavriksorka og teldan kann viðgera stórar mongdir av dátum, tá ið fingist verður við alskyns vísindaligar avbjóðingar.

## Talva 1. Tólbúnaður í RPi 3 Model B

**SOC:** Broadcom BCM2837  
**CPU:** 4 x ARM Cortex-A53, 1,2GHz  
**GPU:** Broadcom VideoCore IV  
**RAM:** 1GB LPDDR2 (900 MHz)  
**Netverk:** 10/100 Verkneta, 2,4GHz 802.11n tráðleyst  
**Bluetooth:** Bluetooth 4.1 Classic, lágorku Bluetooth  
**Goymsla:** microSD 16 GB  
**GPIO:** 40-pinn høv, útfylt.  
**Portur:** HDMI, 3,5mm analogt audio-video stikk, 4 x USB 2.0, Verkneta, Camera Serial Interface (CSI), Display Serial Interface (DSI)



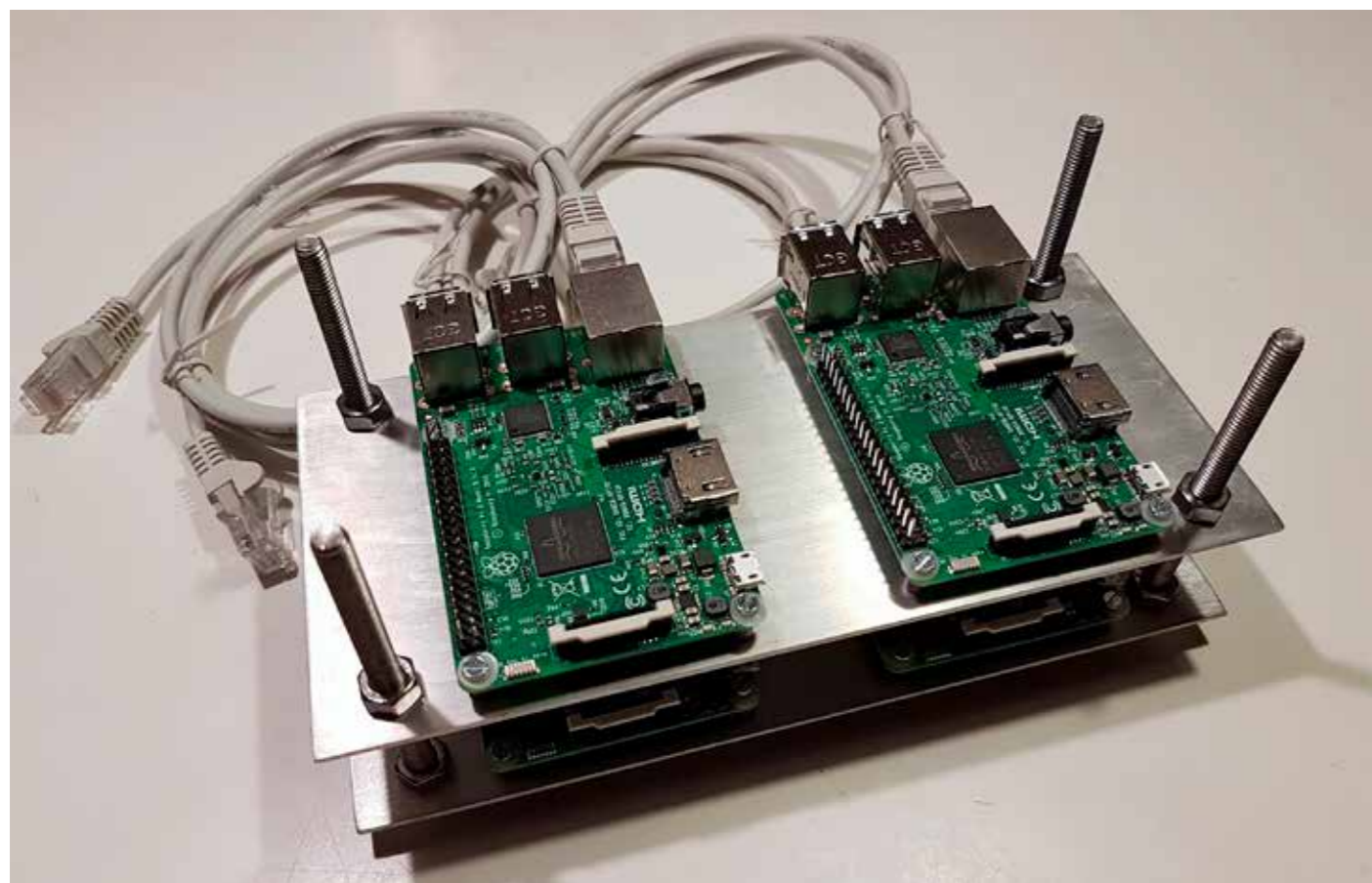
**Mynd 2.** Logiski bygnaðurinn í okkara RPi-grundaðu stórteldu.

### Klasatelda

Ein klasi er eitt kervi av fleiri leysliga ella nærbundnum teldum, ið virka saman parallelt, soleiðis at tær upp á mangar mátar mynda eitt og sama kervi. Í einum slíkum klasa valdast tilfeingis- og arbeiðsbýtið um ein miðsettan tilfeingisumsitara: meginknútin (the Master Node) ella høvuðstelduna.

Hinar teldurnar í klasanum eru undirskipaðir knútar (slave-nodes) og gera tær veruligu útrokningarnar. Ein uppgáva verður vanligi latin meginknútinum, ið síðani skiftir arbeiðið, sum verkið krevur, javnt millum hinar knútarnar.

**Mynd 3.** Ein mótul við 4 RPi-um.



Tummas Andreasen skrivaði BA-uppgávu um „Raspberry Pi Cluster Computer“. Greinin er prentað í NVDRit 2018:05.

*Mynd: Finnur Justinussen*

Hvør av teimum undirskipaðu knútunum ger sínar útrokningar óheft av hinum teldunum, og tá tær eru lidnar, verða úrslitini send aftur til meginknútin, har tey vera savnað saman.

Sostatt er dátuviðgerð við klasum best skikkað til at loysa uppgávur, sum kunnu skiftast sundur í minni uppgávur og greiðast hvør sær.

### Fordømi og mannagongdir

Ymsir KT-granskingarbólkar hava longu gjørt teldur við RPi-klasum. Eingin av hesum RPi-klasunum gagnnýtti kortini ta nýggjaru útgávuna av RPi 3 Model B, ið vit brúktu og avriksroyndu í okkara verkætlan.

Í 2012 gjørdi eitt toymi á universitetinum í

Southampton [1] ein av teimum fyrstu RPi grundaðu klasunum. Tey nevndu hann “Iridis-Pi”. Iridis-Pi klasin var settur saman av 64 RPi 1 Model B knútum. Seinni í einum nýggjari arbeiði [2] var ein klasi gjørdur við 10 Raspberry Pi 2 Model B knútum, nevndur Pi-crust.

Í okkara verkætlan fylgdu vit mannagongdunum hjá hesum áðurnevndu verkætlanum, bæði tá tað snúði seg um telduorkuna og netverksavkastini hjá RPi klasum [1,2] og gjørdu eina RPi 3 Model B grundaða stórteldu, har vit bundu 64 serskildar RPi-ir saman.

Í RPi klasatelduni hjá okkum bundu vit, sum sagt, 64 RPi 3 Model B knútar saman gjøgnum skifflarnar umvegis verknetsútgangir/portur (ports). Vit settu eitt Kingston 16 GB SDHC flash minnis-kort í hvønn knút (hvørt kostaði 95 dkk).

Klasin hevur sostatt samanlagt eitt RAM upp á 64 GB og eina flash-megi upp á 1 TB (16 GB x 64). Partur av flash-megini fer til tey innlögdu forritini. Við øðrum orðum eru hesi kortini harðdiskurin í hvørjari RPi-eind sær.

Logiski bygnaðurin í okkara klasa og dátuflyttingsferðin gjøgnum tey samsvarandi samskiptisleinkini eru útgreind í mynd 2.

**Mynd 4.** Skápið uttan um Raspberry Pi klasan. Á myndini vinstrumegin stendur skáphurðin opin, so at klasin sæst. Høgrumegin er hurðin aftur og nú síggjast skíggin og lykklaborðið, sum eru bundin í meginknútin.

*Mynd: Finnur Justinussen*



Sum það sæst hava vit skoytt nakrar eykaeindir inn afturat RPi-knúttunum til at fáa teir muna-dyggari. Ein atknýtt netverksgoymsla (NAS t.e. Network Attached Storage) var bundin í miðskífílin (middle switch) til at økja um avriksevnið í skipanini.

Atknýtta netverksgoymslan kann roknast fyri at vera meginharðdiskurin í klasanum hjá okkum. Ein beinari virktur við netverksadressubroytara (Network Address Translator, NAT) varð settur til okkara stórteldu, so at til ber at fjarstýra um internetið.

Tá ið vit gjørdur RPi-klasán, settu vit 4 RPi í ein móttul, sum víst á 3. mynd. Um ein knúttur verður í ólagi, er ikki neyðugt at taka alla telduna sundur, men bert henda eina móttulin úr, og tá kann tann óvirkna RPi-in lættliga skiftast.

Hvør RPi sær hevur sín orkugeva (t.d. ein far-telefonløðara við mikro-USB-inngangi), ið síðani raðvíst er bundin í eykaorkugevar og hvør 4-RPi-móttul bundin í sama eykaorkugeva.

Til at hýsa og verja okkara RPi-klasa gjørdur vit eitt skáp uttan um hann. Skápið er sum vera man til vansa fyri umhvørviskølingina.

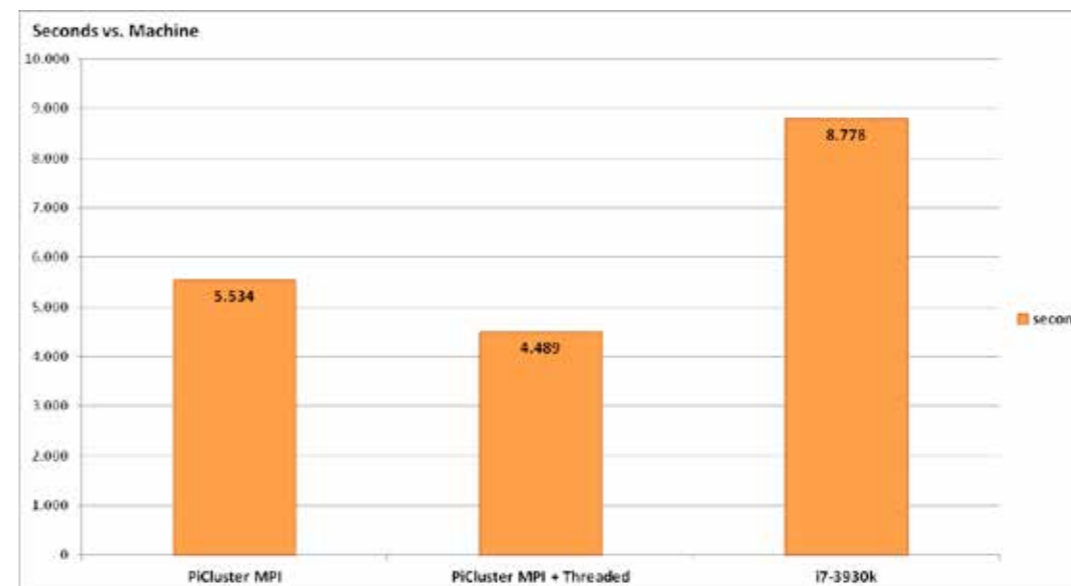
Til at fáa betri køling gjørdur vit tískil eina køli-skipan við fyra víftum, hvør 120 mm. Tvær víftur taka luft inn í neðra og tvær blása luft út í erva.

Til at gera klasán atkomiligari vóru ein skíggi og eitt lykklaborð knýtt upp í meginknúttin í klasanum og fest á skápshurðina. 4. mynd vísir skápið við útbúnaðinum.

### Hvussu klasin var samskipaður og settur upp

Fyrst varð Raspbiska stýrikervið (Raspbian Operating System (OS)) lagt inn og samskipað í hvørjari RPi sær. Ein av RPi-unum var ásett at vera meginknútturinn og hinar 63 RPi-irnar skipaðar sum undirskipaðir knúttar.

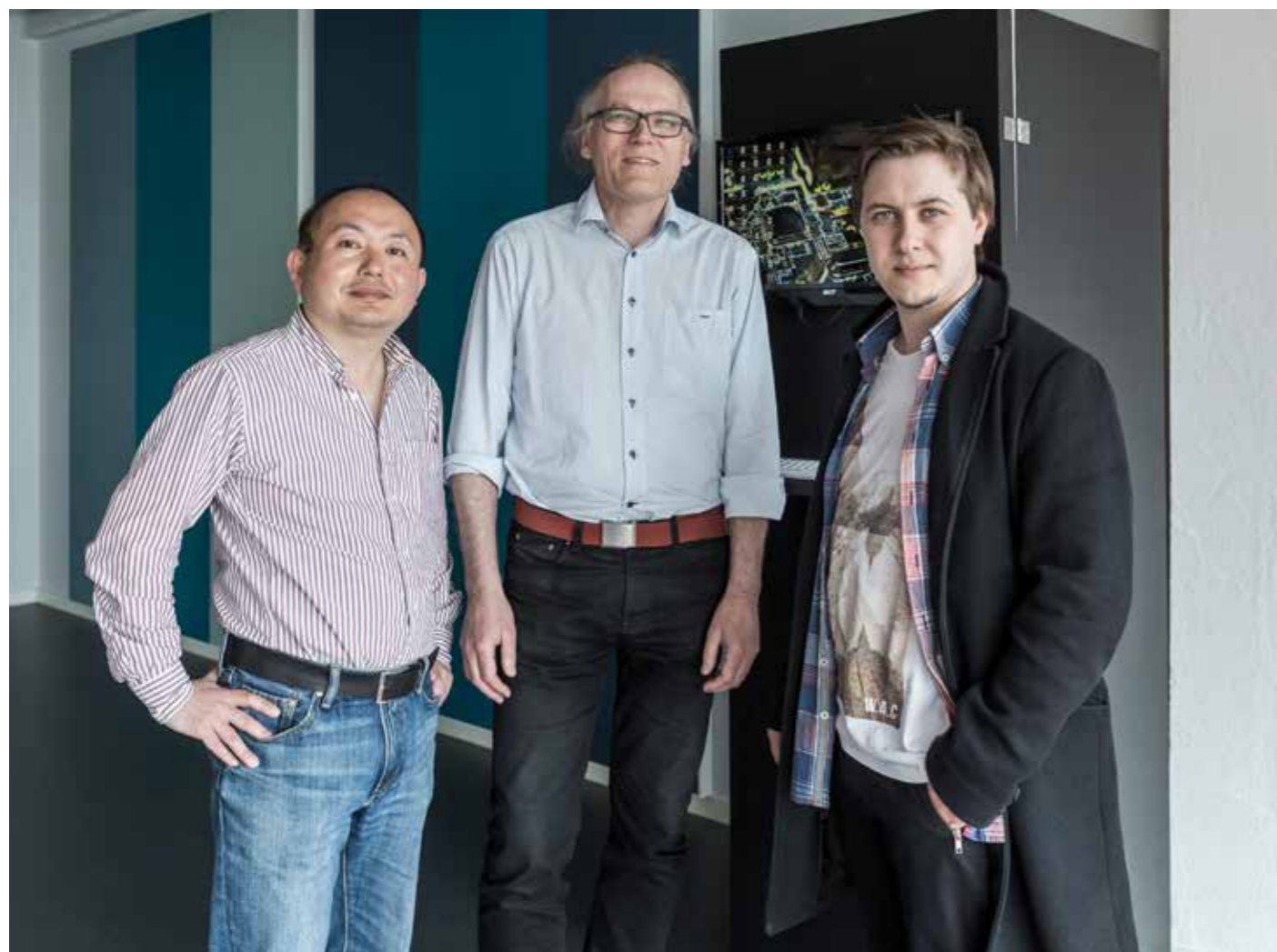
Bara meginknútturinn fekk eitt stýrikervi við grafískum brúkararmarkamóti, GBM (Graphical User Interface, stýtt á enskum: GUI), av tí at það er hesin



**Mynd 5.** Tíðin, sum krevst til at samstillast og flokka 1000000 DNA-raðfylgi. Jú styttri tíð, ið verður brúkt, tí meir verður avrikað. RPi-klasán hjá okkum brúkti umleið helvtina styttri tíð enn ein háavrikstelda við einum i7-3930k prosessara.

Teir triggir hævundarnir framman fyri stórtelduni. Qin Xin, Svein-Ole Mikalsen og Tummás Andreasen.

Mynd: Finnur Justinussen.



knútturinn, ið, sum sagt, er bundin í skíggjan á skápshurðina (4. mynd).

Ikki at hava GBM í undirskipaðu knúttunum sparir pláss á teimum einstøku microSD kortunum. Harafturat lögdu vit eisini ta paralellu forritsrammuna (programming framework) OpenMPI inn í RPi-irnar, so at tær kundu samskifta sínámillum og virka sum ein einstakur klasi.

Síðani fóru vit inn á hvørja RPi sær og góvu henni eitt fastbundið IP-atsetur og vertsnavn. Við fastbundnum atsetrum bar til hjá okkum at fáa atgongd gjøgnum SSH til samsvarandi knúttar.

Harafturat gjørdur vit hvørjum knútti eitt loyniorð og lótu allar knúttarnar fáa atgongd hvør til annan. Upp á tann máttan kann hvør RPi-knúttur samskifta við hinar eftir vild. Til at víga upp ímóti vansanum, sum serliga stóðst av, at SD-kortini høvdu avmarkað megni (capacity), brúktu vit NAS, so at kervið sum heild fekk at avrika meir og vit fingur eina felags fílskipan fyri allan klasán, ið kann roknast fyri at vera partur av meginknúttunum.

Í mun til eldri sløg av RPi-klasum [1, 2] hevur okkara RPi-grundaða stórtelda ein NAT-virktan beinara og kann tí fáa atgongd til Internetið. Sostatt kann bindast í okkara RPi-stórteldu við fjarsambandi gjøgnum SSH við at tilskila IP-atsetrið í meginknúttunum.

### Avriksmetingar og samanberingar

Tær avriksmetingar, sum í hesi verkætlan vórðu gjørdar við RPi-stórtelduni, miðaðu ímóti at staðfesta stigbæri (scalability) og virkni, gagnnýttlu í mun til tíð og orku og støðuleika.

Til at ætla um tal-teld-orkuna (numerical

computing power) hjá RPi-stórtelduni, brúktu vit það vælkenda Há-avriks-LINPACK-máti (HPL) til at máta allan klasán sum heild ella partar av honum [3]. Hetta er eitt alment viðurkent avriksmát fyri kervi, til dømis stórteldur [4]. Eldri sløg av RPi-klasum hava somuleiðis verið avrikroynd eftir sama HPL-máti. Iridis-Pi [1] avrikaði, tá ið mest var, 1140 megaflop.

Tann nýggjari Pi-crust kom upp í 3881 megaflop. Úrslitið fyri okkara klasa, ið sum sagt varð avrikroyndur eftir HPL-máti, er 41630 megaflop og það er munandi skjótari enn nakar av teimum eldru RPi-klasunum [1,2]. Verður roknað við linjurættum stigbæri (linear scalability) er hetta nær um tvær ferðir skjótari enn Pi-crust [2].

Vit avrikroyndu eisini eina kraftmikla borðteldu, sum ein av hævundunum átti. Henda teldan hevði ein Intel i7 3930k prosessara (ein 6 kjarnu-prosessara), vanligi stillaður til 3.2GHz, men í hesi telduni er miðverkseindin (CPU) yvirstillað til 4 GHz við 32 GB RAM. Fyri hesa telduna fingust úrslit á jøvni við tey, ið siggjast á Asteroidathome ([http://asteroidsathome.net/boinc/cpu\\_list.php](http://asteroidsathome.net/boinc/cpu_list.php)) fyri hesa ávísu miðverkseindina upp á 58590 megaflop.

HPL dámar væl nógv og skjótt RAM, og það er helst orsökkin til, at i7-3930k fær eitt betri úrslit í hesari avrikroyndini. i7-3930k hevur atgongd til DDR3 (@1600 Mhz) fyra-rása RAM (quad-channel RAM), meðan RPi bara hevur DDR2 (@900 Mhz). Eisini hevur RPi helst bara eina rás til rammíð. Harafturat er henda avrikroyndin rættiliga eftirgjørd, so í veruligari nýttlu hevði RPi-stórteldan verið munandi skjótari.

**Mynd 6.** Hvør RPi sær hefur sín orkugeva (t.d. ein fartelefónlõðara við mikro-USB-inngangi), ið síðani raðvíst er bundin í eykaorkugevar og hvør 4-RPimótul bundin í sama eykaorkugeva.



### Stórar uppgávir við lágari orkunýtslu

Í fyrsta lagi: RPi-grundaða stórteldan hjá okkum varð gjørd við tí fyrri eyga, at hon skuldi kunna gera greiningar av umfatandi DNA-raðfylgjum.

At savna og kortleggja DNA-raðfylgi er ein stór granskingarlig avbjóðing. Við tí endamáli at gera forsamlát (initial simulation) av samstillingum (alignments) og at kanna avbrigdi í DNA-raðfylgjum (sequences), gjørdur vit 1000 000 raðfylgi við avbrigdum av frammanundan kendum raðfylgjum (ikkí ólíkt tí, tá vit kanna genavbrigdi í kendum genum hjá ymsum einstaklingum).

Okkara RPi-klasi stóð seg betur enn omanfyri nevnda og kraftmikla bordtelda, var umleið helvtina skjótari at útinna setningin.

Í øðrum lagi: somuleiðis vístu vit, hvat RPi-klasin hjá okkum megnar og hvussu støðugur hann er, við at útinna ein XMRig [5] ] (ein Monero dulmálgjaldoyra-leitara t.e. cryptocurrency miner) og brúka fyra kjarnar í hvørjum knúti til fulnar í minst 10 dagar.

Vit fingur ein vinning upp á um leið 0.0001057792 bitcoin hvønn dag (t.e. 0.88 USD sambært upplýsingum á vevsíðuni hjá Nicehash). Omanfyri

nevnda bordteldan stóð seg lakari enn RPi-klasin og hevði avkastað helvtina færri Bitcoin, tá ið av tornaði.

Stigbærið í klasanum var so gott sum linjurætt og tað bendir á, at til ber at gera stórra klasar uttan tó at missa gagnnýti/knúti (efficiency/node). Hartil kemur, at orkunýtslan í skipanini er upp á seg lítil.

Samlaða orkunýtslan hjá klasanum, NAT-virkti beinarin íroknaður, var, tá ið allir knútarnir í klasanum vóru komnir í fult sving við ta intensivu HPL avriksroyndina, ikki meir enn 310 Watt.

Áðurnevnda bordtelda brúkar umleið 402 watt, tá ið hon koyrir við fullari ferð og hetta vísir, at RPi-klasin nýtir orku væl, ikki minst tá ið hugsað verður um tey góðu úrslitini í mun til „verulig brúksendamáli“.

Tað er ein royndur lutur, at ein munandi partur av orkunýtsluni hjá stórra teldum verður brúktur til at køla skipanina og ikki til dátuviðgerð sum so.

### Niðurstøða og framtíðarverkætlanir

Meginendamálið við hesi verkætlan var at gera eina RPi klasa-teldu, ið megnar at greina stórar mongdir av dátum í DNA-raðfylgjum. Okkum eydnaðist at gera eina fullvirkisføra 64-kjarna RPi 3 Model B klasa-teldu og royndirnar av henni higartil boða frá góðum.

Í mun til aðrar RPi-klasa-verkætlanir [1, 2], kann okkara RPi-stórtelda fáa atgongd til internetið og bindast kann í hana við fjarsambandi (frá ófbundnum teldum). Úrslitini av avriksmetingunum vístu eisini, at okkara RPi-stórtelda stóð seg betur enn tær, sum vóru gjørdar í [1, 2] og eisini betur enn ein fjølkjarna bordtelda útgjørd við Intel i7 3930k prosessara, serliga tá ið tað galt „verulig brúksendamáli“.

RPi-stórteldan hjá okkum roynist væl og bjóðar góð og ymisk líkindi. Tey innløgdu grafikkortini kunnu økja um teldorkuna í hvørjum knúti sær, hóast flutningsferðin millum megin- og undirskipaðu knútarnar setur ávís mörk.

Ein nýggj útgáva av RPi kom fram, eftir at vit vóru farnir undir okkara verkætlan. RPi 3 model

B+ varð sett á marknaðin í februar 2018. Hendan útgávan hevur ein skjótvirknari 1.4 GHz prosessara og eitt skjótari netverk grundað á gigabit verknet (ethernet) og 2.5/5 GHz tví-bands Wi-Fi. Ein RPi 3 model B+ kostaði, tá ið hetta varð skrivað, 263 dkk.

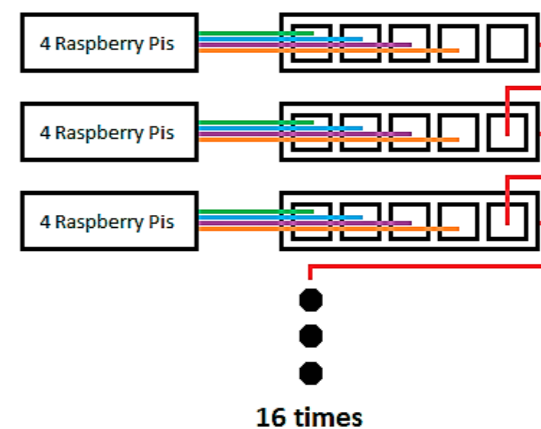
Vit halda, at henda útgávan av Raspberry Pi kann økja munandi um avriksorkuna hjá klasanum, men vit bíða kortini eftir, at ein Raspberry Pi útgáva fer at koma við háferðsportrum sum USB 3 og stórra RAM-ið.

Vónandi kann arbeiði okkara birta upp undir, at fleiri kanningar verða gjørdar til at menna RPi-klasas. Við tað at ein slíkur klasi upp á seg er bíligur, er ikki ósannlíkt, at til ber at gera klasar til serlig endamáli, eitt nú ein klasa burturav ætlaðan til savning av arvameingi (genome), har eitt tilvísingarmeingi verður brúkt.

Aðrir klasar kundu hinvegin verið nýttir til *de novo* savning, savning av íleguframsetingum (transcriptome), til at eyðmerkja DNA-avbrigdi, til at gera genetiskar strikukotur o.s.fr., men óivað til onnur (ólívfrøðilig) endamáli við.

### Tøkk

Vit fara at takka Vinnustovninum og Fróðskaparsetri Føroya fyri fíggarligan stuðul, dr. Steven J. Johnston á universitetinum í Southampton fyri góð ráð og Sunnivu Samson Sigurdardóttir fyri at hjálpa okkum við lívkunnindum (bioinformatics).



### Tilvísingar:

1. S.J. Cox, J.T. Cox, R.P. Boardman, S.J. Johnston, M. Scott, and N.S. O'Brien. Iridis-pi: a low-cost, compact demonstration cluster. *Cluster Computing*, 17(2):349–358, Jun 2014.
2. E. Wilcox, P. Jhunjhunwala, K. Gopavaram, and J. Herrera. Pi-crust: A Raspberry Pi cluster implementation. Technical report, Texas A&M University.
3. A. Petitet, R.C. Whaley, J. Dongarra, and A. Cleary. HPL - a portable implementation of the high-performance linpack benchmark for distributed memory computers, February 2016. URL: <http://www.netlib.org/benchmark/hpl/>
4. E. Strohmaier, J. Dongarra, H. Simon, M. Meuer, and H. Meuer. The linpack benchmark, 2018. URL: <https://www.top500.org/project/linpack/>.
5. Xmrig. URL <https://github.com/xmrig/xmrig>. CPU cryptocurrency mining Page 63 of 64.
6. Statistics for cryptonight. URL: <https://www.nicehash.com/algorithm/>