

Information technologies and multimedia Informacinės technologijos ir multimedija

DEBESŲ KOMPIUTERIJOS PROGRAMINĖS ĮRANGOS PASLAUGŲ GREITAVEIKOS TYRIMAI

Oleg BYSTROV *, Ruslan PACEVIČ, Arnas KAČENIAUSKAS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2019 m. kovo 28 d.; priimta 2019 m. balandžio 5 d.

Santrauka. Straipsnyje pristatomos sukurtos debesų kompiuterijos programinės įrangos paslaugos (SaaS) ir jų greitaveikos tyrimai. „OpenStack“ debesų kompiuterijos infrastruktūroje jclouds priemonėmis buvo sukurtos hemodinaminių srautų modeliavimo ir dalelių technologijų tyrimų diskrečiųjų elementų metodu programinės įrangos paslaugos. Debesų kompiuterijos infrastruktūros efektyvumas buvo iširtas testuojant virtualios operatyviosios atmintinės, virtualaus CPU, virtualaus standžio disko, virtualaus tinklo ir sukurtų programinės įrangos paslaugų greitaveiką. Atliktas kiekybinis „OpenStack“ visos XEN virtualizacijos resursų greitaveikos palyginimas su „Eucalyptus“ KVM paravirtualizacijos resursų ir grynos aparatinės įrangos greitaveika.

Reikšminiai žodžiai: debesų kompiuterija, programinės įrangos paslaugos, „OpenStack“, jclouds API, greitaveikos tyrimai.

Įvadas

Pastaruoju laikotarpiu debesų kompiuterija tapo labai populiaria paskirstytųjų skaičiavimų platforma dėl didelio prieinamumo lygio priklausomai nuo dinamiškai kintančių išteklių poreikio (Sakellari ir Loukas, 2013). Remiantis NIST SPI modeliu (Mell ir Grance, 2011), debesų kompiuterijos paslaugas galima suskirstyti į tris sluoksnius: IaaS (infrastruktūros paslaugos), PaaS (platformos paslaugos) ir SaaS (programinės įrangos paslaugos). Didelio pripažinimo susilaukusi atvirojo kodo debesų kompiuterijos programinė įranga OpenStack (2019) skirta didelės apimties privatiems ir bendruomeniniams debesims kurti. Programinė įranga Eucalyptus (2018) taip pat skirta IaaS paslaugoms kurti, bet dažnai taikoma mokslinių tyrimų sektoriuje. Programinė įranga XEN ir KVM dažnai naudojama debesų kompiuterijos ištekliams virtualizuoti (Chierici ir Veraldi, 2010). Debesų kompiuterijos infrastruktūros ir paslaugos padidina vartotojų mobilumą ir pagerina išteklių naudojimą (Megahed et al., 2019), todėl intensyvių skaičiavimų programinės įrangos paslaugos sparčiai plinta tiek pramonėje, tiek mokslinių tyrimų srityje (Castañé, Xiong, Dong ir Morrison, 2018). Darbe (Estrada et al., 2015) buvo tirta genomo skaičiavimų greitaveika virtualizuotose mašinose ir konteineriuose. Lygiagrečiųjų skaičiavimų greitaveiką virtualizuotuose ištekliuose tyrė (Hale, Richardson ir Wells, 2017).

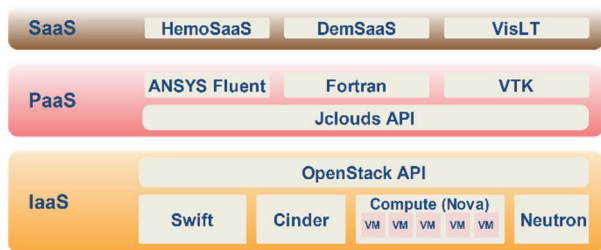
Deja, debesų kompiuterijai vis dar trūksta intensyvių skaičiavimų programinės įrangos tyrimų, nes specifinių paslaugų greitaveika įvairiuose virtualizuotuose ištekliuose yra ypač svarbi (Zhang ir Ravishankar, 2019). Dauguma studijų apsiriboja greitaveikos kritimo dėl virtualizacijos įvertinimu, atliekant standartinius testus (Mohammadi ir Bazhiro, 2018). Aktualūs tyrimai rodo, kad sudėtingų intensyvių skaičiavimų SaaS paslaugų efektyvumui iširti ir optimaliai debesų kompiuterijos infrastruktūros konfigūracijai parinkti reikia atlikti specializuotus greitaveikos testus, kurių rezultatai labai priklauso nuo atliekamų skaičiavimų algoritmo ir išteklių virtualizacijos pobūdžio (Reddy ir Lastovetsky, 2018; Kačeniauskas et al., 2017).

Pristatomame darbe tiriama sukurtų hemodinaminių srautų modeliavimo ir dalelių technologijų tyrimų intensyvių skaičiavimų programinės įrangos paslaugų greitaveika „OpenStack“ debesų kompiuterijos XEN visos virtualizacijos mašinose ir atliekamas kiekybinis palyginimas su greitaveikos matavimais „Eucalyptus“ KVM paravirtualizacijos mašinose ir grynoje aparatinėje įrangoje.

1. Sukurtos debesų kompiuterijos paslaugos

Sukurtos programinės įrangos paslaugos (SaaS) buvo įdiegtos „OpenStack“ ir „Eucalyptus“ debesų kompiuterijos infrastruktūrose, palaikomose Vilniaus Gedimino

*Autorius susirašinėti. El. paštas oleg.bystrov@vgtu.lt



1 paveikslas. Teikiamos debesų kompiuterijos paslaugos
Figure 1. Cloud computing services

technikos universiteto Lygiagrečiųjų skaičiavimų laboratorijoje. 1 paveiksle pavaizduoti „OpenStack“ debesų kompiuterijos infrastruktūros teikiamų paslaugų sluoksniai.

Infrastruktūros paslaugos IaaS teikiamos naudojantis OpenStack (2019) programine įranga. Debesų kompiuterijos infrastruktūra valdoma „OpenStack“ API metodais. Schemoje pavaizduotos pagrindinės infrastruktūros dalys: duomenų saugykla Swift, virtualusis diskas „Cinder“, skaičiavimų elementas „Nova“ ir tinklo elementas „Neutron“. Skaičiavimų elementą sudaro virtualiosios mašinos, sukongfigūruotos pagal suformuluotus poreikius. Virtualiosios mašinos atlieka reikiamus skaičiavimus, o jų našumas priklauso nuo virtualizacijos parametrų ir aparatinės įrangos charakteristikų. „OpenStack“ infrastruktūroje buvo atlikta visa XEN virtualizacija, o „Eucalyptus“ naudojo KVM paravirtualizaciją. Virtualiųjų mašinų pagrindą sudarė i7 architektūros kompiuteriai, kurių aparatinės įrangos charakteristikos yra šios: Intel®Core i7-4790 3.60 GHz CPU, 32 GB DDR3 1866 MHz RAM ir 1 TB HDD. Iš anksto numatytais atvejais, kai vartotojui reikia daug vietos tarpiniams rezultatams saugoti, prie virtualiosios mašinos prijungiamas virtualusis diskas („Cinder“). Ilgalaikiam didelių duomenų saugojimui naudojama duomenų saugykla „Swift“. Debesų kompiuterijos infrastruktūros elementai tarpusavyje buvo sujungti 1Gbps „Ethernet“ LAN tinklu. Tinklo paslauga „Neutron“ atsakinga už duomenų perdavimą debesų infrastruktūros viduje ir ryšius su išore.

Platformos paslaugos PaaS teikiamos programuotojams, kurie ruošia galutinę vartotojo programinę įrangą, teikiančią aukščiausio lygio paslaugas vartotojams. Jclouds (2019) sąsaja skirta dirbti su „OpenStack“ debesų infrastruktūra. Aukštesnio lygio jclouds sąsaja taiko žemesnio lygio „OpenStack“ API metodus ir leidžia patogiai valdyti „OpenStack“ debesų infrastruktūrą. Atviros kodo objektiškai orientuota vizualizavimo įrankių biblioteka „Visualization Toolkit“ (VTK) (Schroeder, Martin ir Lorensen, 2006) įdiegta platformos paslaugų sluoksnyje kompiuterinės grafikos, vizualizavimo ir atvaizdžių apdorojimo programų kūrėjams. „Fortran“ programavimo kalbos platforma skirta mokslinių skaičiavimų programinės įrangos kūrėjams. ANSYS Fluent (2019) platforma reikalinga apibrėžtų uždavinių klasių sprendimo programų kūrėjams.

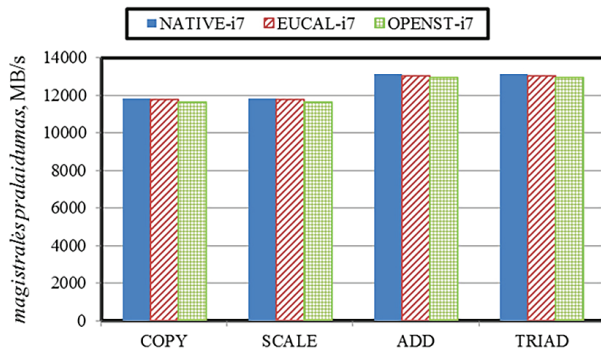
Viršutiniame debesų kompiuterijos sluoksnyje vaizduojamos sukurtos programinės įrangos paslaugos SaaS.

Hemodinaminių srautų žmogaus širdyje modeliavimo programinės įrangos paslauga HemoSaaS sudaryta aukšto lygio platformos „ANSYS Fluent“ pagrindu. Diskrečiųjų elementų metodo programinės įrangos paslauga DemSaaS, skirta dalelių technologijų tyrimams, yra pagrįsta žemesnio lygio „Fortran“ programavimo kalbos platforma. Debesų kompiuterijos vizualizavimo e. paslauga VisLT (Pacevič ir Kačeniauskas, 2017), skirta skaičiavimų rezultatams, saugomiems debesų kompiuterijos duomenų saugyklose, vizualizuoti. VTK platformos metodais sukurtas VisLT vizualizavimo variklis veikia debesų kompiuterijos infrastruktūros virtualiosiose mašinos.

2. Paslaugų greitimeikos tyrimai

Poskyryje pateikti debesų kompiuterijos infrastruktūros ir sukurtų programinės įrangos paslaugų SaaS greitimeikos tyrimų rezultatai. Buvo tiriama virtualizuotų aparatinės įrangos komponentų RAM, CPU, standžiojo disko (HDD) ir tinklo bei sukurtų skaičiavimo programinės įrangos paslaugų HemoSaaS ir DemSaaS greitimeika. Vizualizavimo e. paslaugos VisLT greitimeikos rezultatai pateikti straipsnyje (Pacevič ir Kačeniauskas, 2017). „OpenStack“ debesų kompiuterijos infrastruktūroje gauti rezultatai palyginti su greitimeika, pasiekta realioje analogiškoje aparatinėje įrangoje ir alternatyvioje „Eucalyptus“ debesų kompiuterijos infrastruktūroje.

Debesų kompiuterijos virtualiųjų mašinų atminties greitimeika buvo ištestuota STREAM (2019) testavimo programine įranga. STREAM galima išmatuoti atminties magistralės pralaidumą, atliekant paprastas vektorines operacijas. Pasirinktas uždavinio dydis buvo lygus 150 milijonų, kad viršytų greitosios atmintinės dydį. 2 paveiksle pavaizduoti virtualizuotos RAM atminties greitimeikos testų rezultatai ir kiekybinis palyginimas debesų kompiuterijos infrastruktūrose. Lyginamas RAM atminties magistralės pralaidumas realioje aparatinėje įrangoje (NATIVE-i7), „OpenStack“ su visa XEN virtualizacija (OPENST-i7) ir „Eucalyptus“ su KVM paravirtualizacija (EUCAL-i7). Tiriamos įvairios darbo su atmintimi op-

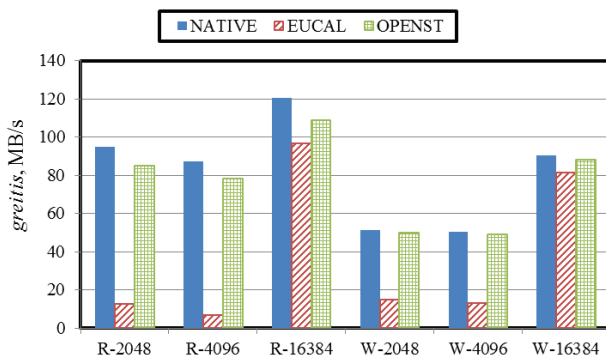


2 paveikslas. Virtualizuotos RAM atminties greitimeikos testai debesų kompiuterijos infrastruktūrose
Figure 2. Virtual RAM performance tests in different cloud infrastructures

eracijos: COPY, SCALE, ADD ir TRIAD. Visais atvejais gauti panašūs greitaveikos rezultatai su nedidele reikšmių sklaida. Natūralu, kad didžiausias magistralės pralaidumas buvo gautas realioje aparatinėje įrangoje, o debesų kompiuterijos infrastruktūrose išmatuota mažesnė greitaveika. Verta pažymėti, kad „Eucalyptus“\KVM gauti kiek geresni rezultatai, nei „OpenStack“\XEN virtualiosiose mašinose. „Eucalyptus“ debesų kompiuterijos infrastruktūroje atminties magistralės pralaidumo skirtumas sudarė mažiau negu 1 % realios RAM atminties pralaidumo. „OpenStack“ infrastruktūroje išmatuotas virtualiosios ir realios RAM atminties magistralės pralaidumo skirtumas neviršijo 1,8 % realios RAM atminties magistralės pralaidumo. Verta pažymėti, kad operacijoms COPY ir SCALE yra išmatuotas mažesnis atminties magistralės pralaidumas nei operacijoms ADD ir TRIAD.

Debesų kompiuterijos virtualiųjų mašinų CPU greitaveika buvo ištestuota LINPACK (2019) testavimo programine įranga. LINPACK matuoja, kiek operacijų su dvigubo tikslumo realiais skaičiais sistema gali atlikti per sekundę (flop/s), sprendama tiesinių lygčių sistemą. Sukompiliuota LINPACK versija su automatine optimizacija buvo panaudota šiam testui, nes debesų kompiuterijos infrastruktūrų vartotojai dažniausiai neturi galimybių nuodugnai pritaikyti savo programinę įrangą prie virtualiųjų mašinų išteklių. „OpenStack“ debesų kompiuterijos virtualiosiose mašinose buvo gauti gana geri rezultatai, nes išmatuotas atsilikimas nuo realios aparatinės įrangos buvo lygus 10,7 %. „Eucalyptus“ infrastruktūroje buvo užfiksuoti 3–5 % prastesni rezultatai.

Debesų kompiuterijos infrastruktūros virtualizuotų standžiųjų diskų greitaveika buvo ištestuota programine įranga BONNIE++ (2019). Buvo išmatuotas duomenų nuskaitymo iš disko ir duomenų įrašymo į diską greitis. Testams parinkti dideli failai, kuriuos nuskaitant ar įrašant sudėtinga išnaudoti sparčiąją atmintinę (angl. *cash*) ir neproporcingai pagreitinti HDD įvesties ir išvesties procesus. 3 paveiksle pavaizduoti virtualizuoto standžiojo disko greitaveikos testų debesų kompiuterijos infrastruktūrose rezultatai. Stulpeliai R-2048, R-4096



3 paveikslas. Virtualizuoto HDD greitaveikos testai debesų kompiuterijos infrastruktūrose
Figure 3. Virtual HDD performance tests in different cloud infrastructures

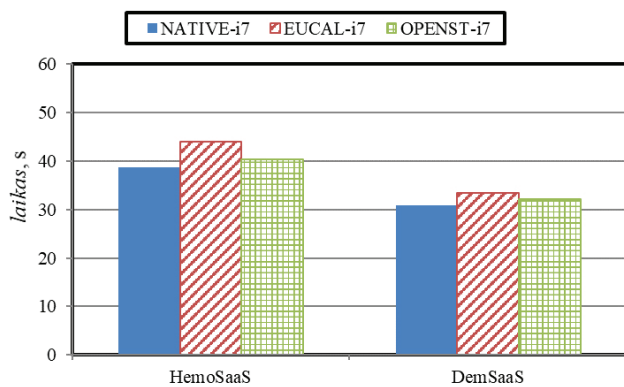
1 lentelė. Virtualizuoto tinklo greitaveikos testai
Table 1. Virtual network performance tests

Programinė įranga	Iperf, Mbit/s		Ping, ms	
	Client	Server	Client	Server
NATIVE	934	925	0,21	0,20
EUCAL	766	634	0,36	0,40
OPENST	916	914	0,33	0,36

ir R-16384 reprezentuoja 2048MB, 4096MB ir 16384MB failų nuskaitymą iš standžiojo disko, o stulpeliai W-2048, W-4096 ir W-16384 vaizduoja 2048MB, 4096MB ir 16384MB failų įrašymą į standųjį diską. „OpenStack“ debesų kompiuterijos infrastruktūroje duomenų įrašymo į virtualų standųjį diską greitis mažai atsiliko nuo įrašymo greičio, išmatuoto realioje aparatinėje įrangoje. Išmatuoto įrašymo laiko skirtumas kito nuo 2,6 % iki 2,9 % laiko, išmatuoto testuojant realią aparatinę įrangą. „OpenStack“ debesų kompiuterijos infrastruktūroje nuskaitymo iš standžiojo disko greičio skirtumas buvo didesnis ir siekė 10 % laiko, išmatuoto realioje aparatinėje įrangoje, nors išmatuotos absoliučiosios greičio vertės buvo gana aukštos, o didesniojo failo dydis siekė realios RAM atminties mazge dydį. „Eucalyptus“ debesų kompiuterijos infrastruktūroje duomenų įrašymo į virtualųjį standųjį diską ir duomenų nuskaitymo iš virtualiojo disko greičiai buvo mažesni, kas labai pasireiškė naudojant mažesnius failus.

1 lentelėje pateikti virtualizuoto tinklo testų debesų kompiuterijos infrastruktūrose rezultatai. Maksimalus tinklo pralaidumas buvo išmatuotas programine įranga Iperf (2019), o vėlinimo laikas išmatuotas programa „Ping“. Stulpelis „Client“ reprezentuoja eksperimentus, kai virtualioji mašina kaip klientas kreipėsi išorinį analogiškos aparatinės įrangos serverį ir atliko tinklo parametrų matavimus. Stulpelis „Server“ reprezentuoja eksperimentus, kai išorinis analogiškos aparatinės įrangos kompiuteris kreipėsi į virtualiąją mašiną kaip į serverį. Lyginami tinklo parametrai realioje aparatinėje įrangoje (NATIVE), „OpenStack“ (OPENST) ir „Eucalyptus“ (EUCAL) debesų kompiuterijos infrastruktūrose.

„OpenStack“ infrastruktūroje išmatuotas virtualiojo tinklo pralaidumas buvo labai artimas realioje aparatinėje įrangoje išmatuotam pralaidumui. Kai virtualioji mašina veikė kaip klientas, Iperf išmatuotas skirtumas sudarė 1,9 % realaus tinklo pralaidumo, o kai virtualioji mašina veikė kaip serveris, gautas skirtumas sudarė 1,2 % realaus tinklo pralaidumo. „Eucalyptus“ infrastruktūroje išmatuotas skirtumas sudarė 18 % ir 31,5 % realaus tinklo pralaidumo. „OpenStack“ debesų kompiuterijos infrastruktūros virtualiajame tinkle išmatuotas mažesnis vėlinimo laikas negu „Eucalyptus“ infrastruktūroje. Deja, skirtumas tarp virtualizuoto ir realaus tinklo parametrų buvo gana didelis. „Eucalyptus“ infrastruktūroje išmatuotas vėlinimo laiko skirtumas siekė 40,9 % ir 50 % vėlinimo laiko išmatuoto realiame tinkle kliento ir serverio atvejais atitinkamai.



4 paveikslas. SaaS paslaugų greitaveikos testai
Figure 4. SaaS performance tests

„OpenStack“ infrastruktūroje išmatuotas vėlinimo laiko skirtumas siekė 36,1 % ir 44,4 % vėlinimo laiko, išmatuoto realiame tinkle kliento ir serverio atvejais atitinkamai.

Debesų kompiuterijos infrastruktūroje buvo ištestuota sukurtų intensyvaus skaičiavimo SaaS greitaveika. Užduotiniai parinkti taip, kad testai truktų trumpai ir galima būtų kiekybiškai palyginti jų rezultatus. 4 paveiksle pavaizduoti sukurtų programinės įrangos paslaugų greitaveikos testų debesų kompiuterijos infrastruktūrose rezultatai. Stulpeliai NATIVE-i7, OPENST-i7 ir EUCAL-i7 vaizduoja paslaugų greitaveiką i7 architektūros realioje aparatinėje įrangoje, „OpenStack“ ir „Eucalyptus“ debesų kompiuterijos infrastruktūrose atitinkamai. „OpenStack“ infrastruktūroje išmatuotas HemoSaaS paslaugos greitaveikos skirtumas sudarė 4 % laiko, išmatuoto testuojant realią aparatinę įrangą, o „Eucalyptus“ infrastruktūroje išmatuotas vykdymo laiko skirtumas sudarė 13,6 %, laiko išmatuoto testuojant realią aparatinę įrangą. „OpenStack“ infrastruktūroje didesnis atsilikimas nuo realios aparatinės įrangos, lygus 4,2 %, buvo gautas vykdant DemSaaS testus. Programinės įrangos DemSaaS atveju didelis skirtumas (8,6 %) tarp greitaveikos, išmatuotos testuojant virtualizuotą ir realią aparatinę įrangą, buvo gautas ir „Eucalyptus“ debesų infrastruktūroje.

3. Išvados

Straipsnyje pristatytos programinės įrangos paslaugos, jclouds API įrankiais sukurtos „OpenStack“ debesų kompiuterijos infrastruktūroje, ir jų greitaveikos tyrimai. „OpenStack“ /XEN virtualiųjų mašinų atminties magistralės pralaidumas, standžiojo disko greitaveika ir „OpenStack“ virtualizuoto tinklo pralaidumas buvo artimi gryna aparatinė įranga gautiems rezultatams. Tiriant CPU greitaveiką ir vėlinimą virtualiajame tinkle pastebėtas atsilikimas nuo grynosios aparatinės įrangos. „OpenStack“ /XEN debesų kompiuterijos infrastruktūroje HemoSaaS ir DemSaaS paslaugų greitaveika atsiliko nuo grynosios aparatinės įrangos ne daugiau nei 4,2 %. Didesnis sukurtų paslaugų greitaveikos atsilikimas (iki 13,6 %) išmatuotas „Eucalyptus“ /KVM infrastruktūroje. Greitaveikos tyrimų

rezultatai ir kiekybinis palyginimas su grynos aparatinės įrangos greitaveika atskleidė didelį debesų kompiuterijos infrastruktūros ir sukurtų intensyvaus skaičiavimo programinės įrangos paslaugų potencialą.

Literatūra

- ANSYS Fluent. (2019). *Produkto tinklalapis*. Prieiga per internetą: <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>
- BONNIE++. (2019). *Projekto tinklalapis*. Prieiga per internetą: <https://www.coker.com.au/bonnie++/>
- Castañé, G. G., Xiong, H., Dong, D., & Morrison, J. P. (2018). An ontology for heterogeneous resources management interoperability and HPC in the cloud. *Future Generation Computer Systems*, 88, 373-384. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.05.086>
- Chierici, A., & Veraldi, R. (2010). A quantitative comparison between XEN and KVM. *Journal of Physics: Conference Series*, 219(4), 42005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/219/4/042005>
- Estrada, Z. J., Deng, F., Stephens, Z., Pham, C., Kalbarczyk, Z., & Iyer, R. (2015). Performance comparison and tuning of virtual machines for sequence alignment software. *Scalable Computing: Practice and Experience*, 16(1), 71-84. <https://doi.org/10.12694/scpe.v16i1.1061>
- Eucalyptus. (2018). *Projekto tinklalapis*. Prieiga per internetą: <https://www.eucalyptus.cloud/>
- Hale, J., Li, L., Richardson, C., & Wells, G. (2017). Containers for portable, productive and performant scientific computing. *Computing in Science & Engineering*, 19(6), 40-50. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2017.2421459>
- Iperf. (2019). *Projekto tinklalapis*. Prieiga per internetą: <https://sourceforge.net/projects/iperf/>
- Jclouds. (2019). *Projekto tinklalapis*. Prieiga per internetą: <https://jclouds.apache.org/>
- Kačeniauskas, A., Pacevič, R., Starikovičius, V., Maknickas, A., Staškūnienė, M., & Davidavičius G. (2017). Development of cloud services for patient-specific simulations of blood flows through aortic valves. *Advances in Engineering Software*, 103, 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.013>
- LINPACK. (2019). *Projekto tinklalapis*. Prieiga per internetą: <https://www.netlib.org/linpack/>
- Megahed, A., Nazeem, A., Yin, P., Tata, S., Reza, H., Nezhad, M., & Nakamura, T. (2019). Optimizing cloud solutioning design. *Future Generation Computer Systems*, 91, 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.08.005>
- Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST definition of cloud computing* (Special publication 800-145). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145>
- Mohammadi, M., & Bazhurov, T. (2018). Comparative benchmarking of cloud computing vendors with High Performance Linpack. In *Proceedings of the 2nd International Conference on High Performance Compilation, Computing and Communications*, Hong Kong, 15-17 March (pp. 1-5). New York, USA. <https://doi.org/10.1145/3195612.3195613>
- OpenStack. (2019). *Projekto tinklalapis*. Prieiga per internetą: <https://www.openstack.org/>
- Pacevič, R., & Kačeniauskas, A. (2017). The development of VisLT visualization service in Openstack cloud infrastructure. *Advances in Engineering Software*, 103, 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.06.012>
- Reddy, R., & Lastovetsky, A. (2018). Bi-objective optimization of data-parallel applications on homogeneous multicore clusters

- for performance and energy. *IEEE Transactions on Computers*, 67, 160-177. <https://doi.org/10.1109/TC.2017.2742513>
- Sakellari, G., & Loukas, G. (2013). A survey of mathematical models, simulation approaches and testbeds used for research in cloud computing. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 39, 92-103. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2013.04.002>
- Schroeder, W., Martin, K., & Lorensen, B. (2006). *The visualization toolkit: an object-oriented approach to 3D graphics* (4 ed.). USA: Kitware Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-012387582-2/50003-4>
- STREAM. (2019). *Projekto tinklalapis*. Prieiga per internetą: <https://openbenchmarking.org/test/pts/stream>
- Zhang, G., & Ravishankar, M. N. (2019). Exploring vendor capabilities in the cloud environment: A case study of Alibaba Cloud Computing. *Information & Management*, 56(3), 343-355. <https://doi.org/10.1016/j.im.2018.07.008>

PERFORMANCE ANALYSIS OF CLOUD COMPUTING SOFTWARE SERVICES

O. Bystrov, R. Pacevič, A. Kačeniauskas

Abstract

The paper presents the performance analysis of the developed software as a service. In OpenStack cloud infrastructure, the software services for hemodynamic flow modelling and particle technology applications have been developed by using Apache jclouds API. The performance of the hosted cloud infrastructure has been assessed testing virtual memory, CPU, disk IO, network and the developed software services. The measured performance of the virtual OpenStack resources (full XEN virtualization) has been compared with that of the virtual Eucalyptus resources (KVM paravirtualization) and the native hardware.

Keywords: cloud computing, software as a service (SaaS), OpenStack, jclouds, performance analysis.