

Superkompüter Texnologiyaları: Mövcud Vəziyyəti və İnkişaf Perspektivləri

¹Rəşid Ələkbərov, ²Tural Mustafayev, ³Məmmədrəsul Yaqubov,

^{1,2,3}AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹rashid@iit.ab.az, ²tural.mustafayev@iit.ab.az, ³mrasul.yagub@iit.ab.az

Xülasə - Məqalədə süperkompüter texnologiyalarının hal-hazırkı vəziyyəti və onların müxtəlif göstəricilər üzrə paylanma dinamikası analiz edilmişdir. Yaxın perspektivdə superkompüterlərin inkişaf dinamikası araşdırılmışdır.

Açar sözlər - süperkompüter, real məhsuldarlıq, nəzəri məhsuldarlıq, green computing, big data, flop/s, klaster, top500 superkompüter.

I. GİRİŞ

Ölkəmizdə İnformasiya Cəmiyyətinin qurulması dövlət siyasətinin əsas prioritetlərindən biri kimi qəbul edilmişdir. İnformasiya Cəmiyyətinin qurulmasının əsas vəzifələrinə bu cəmiyyətin hüquqi əsaslarının yaradılması, ölkənin iqtisadi, sosial və intellektual potensialının möhkəmləndirilməsi, müasir informasiya-kommunikasiya infrastrukturunun formalaşdırılması, informasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsi, global informasiya fəzasına inteqrasiya və digər vacib məsələlər daxildir. Göstərilən məsələlərin həlli zamanı meydana çıxan mürəkkəb hesablamalar və böyük həcmli yaddaş tələb edən məlumatları daha sürətlə emal edib, istifadəçilərə çatdırmaq üçün yüksək hesablama məhsuldarlığına və böyük yaddaşa malik olan superkompüterlərdən geniş istifadə edirlər. Eyni zamanda müasir dövrdə elmin müxtəlif sahələrində: fiziki-kimyəvi proseslərin, nüvə reaksiyalarının, global atmosfer proseslərinin, iqtisadiyyatın inkişafının real zaman kəsiyində modelləşdirilməsində, kriptografiyada, geologiyada, yeni dərman növlərinin yaradılmasında və s. meydana çıxan böyük hesablama və yaddaş resursları tələb edən mürəkkəb məsələlərin həllində fərdi kompüterlərin hesablama gücü kifayət etmir [1]. Buna görə də həmin mürəkkəb məsələlərin həllində superkompüterlərdən geniş istifadə olunur.

II. SUPERKOMPÜTERLƏRDƏ HƏLL OLUNMASI NƏZƏRDƏ TUTULAN MƏSƏLƏLƏR

Elmin müxtəlif sahələrində superkompüterlərdə həll edilən mürəkkəb məsələlər aşağıdakılardır[2]:

- * nəzəri və eksperimental fizika, yüksək enerjilər fizikası, kvant fizikası və s.
- * kvant və molekulyar kimya sahəsində;
- * böyük sistemlərin riyazi modelləşdirilməsi;
- * kimya mühəndisliyi, yeni materialların yaradılması;
- * maşınqayırma sənayesində mürəkkəb məmulatların layihələndirilməsi;

- * təhlükəsizlik sisteminin işlənilib hazırlanması üçün qəzanın nəticələrinin modelləşdirilməsi;
- * ekologiya sahəsində;
- * genetikada;
- * yerdə, okeanda, atmosferdə baş verən proseslərin modelləşdirilməsi;
- * astronomiya sahəsində;
- * nəqliyyat sektorunda;
- * yarımkeçirici qurğuların yaradılmasında;
- * hərbi sahədə;
- * və s.

Superkompüterlərin reyting cədvəli tərtib olunarkən, onların hesablama məhsuldarlığı əsas amil kimi götürülür. Superkompüterin hesablama məhsuldarlığı dedikdə onun bir saniyədə nə qədər əməliyyat yerinə yetirdiyi başa düşülür. Superkompüterlərin məhsuldarlığı nəzəri və real məhsuldarlıqla qiymətləndirilir. Nəzəri məhsuldarlığı təyin etmək üçün sistemdə iştirak edən eyni tip processorlardan birinin məhsuldarlığını götürüb sistemdəki processorların sayına vurmaq lazımdır. Real məhsuldarlıq isə xüsusi test proqramların köməyi ilə təyin olunur [3]. Real məhsuldarlıq təxminən nəzəri məhsuldarlığın 70-90 %-ni təşkil edir. Superkompüterdə məhsuldarlığı təyin etmək üçün Flop/s-dan (Floating point operations per second) – bir saniyə müddətində sürüşkən vergüllü ədədlər üzərində yerinə yetirdiyi əməliyyatların sayından istifadə olunur.

Superkompüterlərin real məhsuldarlığını təyin etmək üçün xüsusi test proqramlardan istifadə olunur. Test proqramların ən geniş yayılanı LINPACK proqramıdır. Bu, N (1000) dəyişənli xətti cəbri tənliklər sisteminin həll edilməsi üçün tərtib edilmiş test proqramıdır. Dünya üzrə superkompüterlərin reyting cədvəlinin (TOP 500) tərtib edilməsində bu cür test proqramlardan geniş istifadə olunur.

III. SUPERKOMPÜTER TEXNOLOGİYALARININ MÖVCUD VƏZİYYƏTİNİN ANALİZİ

1976-cı ildə, amerikalı alim Seymur Krey tərəfindən, ilk superkompüter (“CRAY-1”) yaradılmışdır. Həmin superkompüter saniyədə 160 milyon əməliyyat yerinə yetirib, əməli yaddaşının həcmi 8 Mbayta bərabər olmaqla, qiyməti 8,8 milyon ABŞ dolları idi [4]. 1993-cü ildən başlayaraq Amerikanın Lourens Berkli Milli Laboratoriyasının kompüter sahəsindəki ekspertləri tərəfindən hər il (son illər ildə iki dəfə - iyun, noyabr aylarında) dünya üzrə ən güclü 500 superkompüterin reyting cədvəli çap olunur.

Superkompüterlərin 2015-ci ilin iyun ayında çap olunan 45-ci reyting cədvəli cədvəl 1-də göstərilmişdir [5].

Cədvəl

Sıra Nömrəsi	Təşkilat və dövlətin adı	Kompüterlərin adları / İstehsalçı	Nüvənin sayı	Real məhsuldarlıq (TFlop/s)
1	National Super Computer Center (Guangzhou, Çin)	Tianhe-2 (MilkyWay-2) / Milli Müdafiə Texnologiyası Universiteti	3 120 000	33 862.7
2	Oak Ridge National Laboratory (Oak Ridge, ABŞ)	Titan / Cray inc.	560 640	17 590
3	Department of Energy's National Laboratory (California, ABŞ)	Sequoia / IBM	1 572 864	17 173.2
.....
100	Swiss National Supercomputing Centre (İsveçrə)	EPFL Blue Brain IV / IBM	65 536	715.6
.....
300	Amazon Web Services (ABŞ)	Amazon EC2 Cluster Compute Instances / noname	17 024	240.1
.....
500	E-Commerce (ABŞ)	xSeries x3650M3 / IBM	29 244	164.8

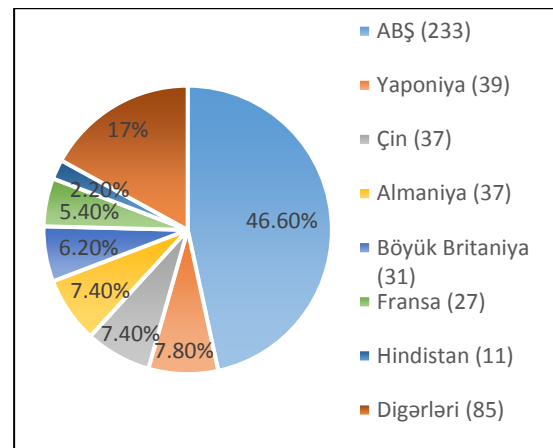
2015-ci ilin iyun ayında çap olunmuş statistikaya görə 1-ci yerdə Çin Xalq Respublikasının Guangjou şəhərindəki Milli Super Kompüter Mərkəzində yerləşən Tianhe-2 (Süd Yolu-2) superkompüterini dayanır. 3,120,000 nüvədən ibarət olan Tianhe-2 33,800 TFlop/s (10^{12} Flop/s) hesablama məhsuldarlığına malikdir. Qiyməti 290 milyon ABŞ dollarıdır

On il müddətdə superkompüterlərin reyting cədvəlini müqayisə etsək görərik ki, 2005-ci ildə birinci yerdə olan superkompüter cəmi 136 TFlop/s hesablama gücünə malik idi. 500-cü yerdə dayananın isə 1.2 TFlop/s məhsuldarlığı var idi. 2015-ci ilin reyting cədvəlində birinci yerdə olan superkompüterin məhsuldarlığı (33 862 TFlop/s) 2005-ci ilin reyting cədvəlinin uyğun yerində yerləşən superkompüterin məhsuldarlığından (136 Tflops) 250 dəfə çoxdur. Qeyd etmək

lazımdır ki, on il əvvəl birinci yerdə yerləşən superkompüterin məhsuldarlığı cari reyting cədvəlinin 500-cü yerində yerləşən superkompüterin məhsuldarlığından (164 TFlop/s) azdır. Bu isə superkompüterlərin məhsuldarlığının son illərdə sürətlə artmasının göstəricisidir.

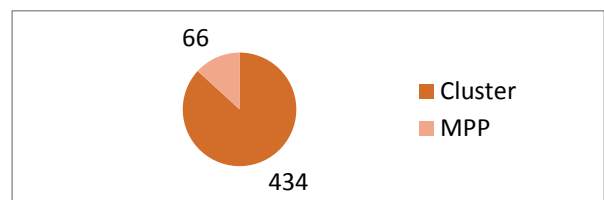
Son iki ildə ilk yeddi yerin sahibi isə ümumiyyətlə dəyişilməyib. Bu da onu göstərir ki, artıq superkompüterlərin hesablama gücünü artırmaqdan daha çox, onlardan daha səmərəli istifadə ön plana çəkilir. Hal-hazırda 68 superkompüterin məhsuldarlığı 1 Pflop/s-dan yuxarıdır.

Superkompüterlərin ölkələr üzrə paylanmasının analizi göstərir ki, reyting cədvəlində iştirak edən superkompüterlərin 47% ABŞ dövlətinə məxsusdur (şəkil 1).



Şəkil 1 Superkompüterlərin ölkələr üzrə paylanması

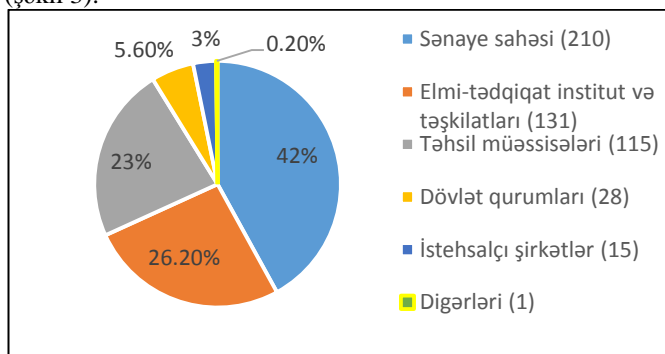
Son illərdə istehsal olunan superkompüterlərin arxitekturasında da geniş dəyişiklik baş vermişdir. Əvvəllər istehsal olunan superkompüterlər MPP (Massively Parallel Processors – kütləvi paralel prosessorlu) və SMP (Symmetric Multiprocessors – ümumi yaddaşlı simmetrik multiprosessorlu) arxitektura əsasında hazırlanırdı. Hal-hazırda istehsal olunan superkompüterlər daha çox klaster tipli arxitektura malikdir (şəkil 2). Klaster arxitekturalı superkompüterlər modul prinsipi əsasında hazırlanır, bu isə onlardan daha səmərəli istifadə etməyə imkan verir. Klaster arxitekturalı superkompüterlərin digər arxitekturalı superkompüterlərə nəzərən ucuz başa gəlməsi superkompüterlərin kütləvi istehsalına təkan vermişdir.



Şəkil 2. Superkompüterlərin arxitektura görə paylanması.

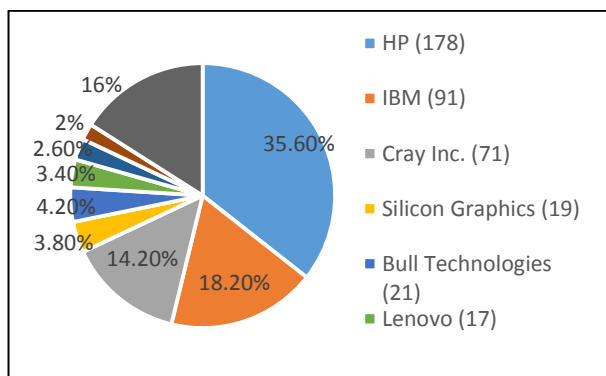
Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, superkompüterlərin çox hissəsi (42%) sənaye sahəsində istifadə olunur. Eyni zamanda

26.2% elmi-tədqiqatlarda, 23% tədris işlərində, 5.6% dövlət layihələrinin, 3% işə istehsal müəssisələrində istifadə olunur (şəkil 3).



Şəkil 3. Superkompüterlərin istifadə sahələrinə görə paylanması.

Reyting cədvəlində göstərilən 500 superkompüterdən 179-u HP, 90-nı IBM, 71-i Cray inc. şirkətlərinin avadanlıqlarından istifadə edərək qurulmuşdur. Sonrakı yerlərdə SGI (29), Bull (22), Fujitsu (14), Dell (10) şirkətlərinin avadanlıqları əsasında qurulmuş superkompüterlər gəlir. Birinci yerdə olan Tianhe-2 superkompüterini NUDT (National University of Defence Technology) şirkəti tərəfindən qurulmuşdur. Superkompüterlərin istehsalçı şirkətlər üzrə paylanması (şəkil 4)-də göstərilmişdir.



Şəkil 4. Superkompüterlərin istehsalçı şirkətlər üzrə paylanması.

Qeyd edilən 500 superkompüterdən 488-inin əməliyyat sistemi Linux bazasındadır. Bu superkompüterlərin 246-sı okeanın o tayındadır (Şimali Amerika-240, Cənubi Amerika-6). Avropa regionunun payına 139 superkompüter düşür. Asiya 109 superkompüterlə 3-cü yerdədir. Avstraliyanın aktivində 6 superkompüter var.

Superkompüterlərin hesablama qovşaqları arasında əlaqəni təmin edən kommunikasiya şəbəkəsi 51.8% (259) İnfinitband, 16.6% (83) 10G, 14% (70) İndividual, 12.8% (64) Gigabit Ethernet şəbəkə texnologiyaları əsasında qurulmuşdur. 500 superkompüterdən 433-ü (86.6%) Intel, 36 (7.2%) Power,

AMD 23 (4.6%) AMD, 7 (1.4%) Spark firmalarının mikroprosessorları bazasında yığılmışdır.

IV. SUPERKOMPÜTER TEXNOLOGİYALARININ PERSPEKTİVLƏRİ

Böyük həcmli verilənlərin (Big Data) emal olunması və yadda saxlanmasında superkompüter texnologiyalarından geniş istifadə olunur. IBM şirkətinin ekspertlərinin apardığı araşdırmalara görə hər gün 15 Pbayt yeni verilənlər (elmi məqalələr, şəkillər, audio-video fayllar, sosial şəbəkə hesabatları və s.) hasil olunur. Dünyada yüksək məhsuldarlığa malik olan Tianhe – 2 (Çin) 12.4 Pbayt, Titan (ABŞ) isə 40 Pbayt yaddaş tutumuna malikdir. Utah Milli Təhlükəsizlik Aqentliyində (Utah, NASA-ABŞ) yerləşən superkompüterin yaddaş tutumu 1 Ybayt (yottabayt) – 10^{24} bayta bərabərdir. Qeyd edilən yaddaş tutumları həddən artıq böyükdür. Müqayisə üçün qeyd edək ki, bu günə kimi yazılmış bütün kitabları 400 Tbayt yaddaş tutumunda yerləşdirmək olar. Elmin müxtəlif sahələrindəki inkişaf bu sahədə emal olunacaq verilənlərin həcmi eksponensial şəkildə artırır. Bu isə gələcəkdə daha yüksək hesablama məhsuldarlığına və yaddaş tutumuna malik superkompüterlərdən istifadə edilməsinə gətirib çıxaracaq.

2020-ci ilədək istehsal olunacaq (Top 500-də 1-ci yerdə duracaq) superkompüterin məhsuldarlığının inkişaf dinamikası aşağıdakı kimi proqnozlaşdırılır (Cədvəl 2) [6].

Cədvəl 2

İllər	Real Məhsuldarlıq (PFlop/s)	Nəzəri Məhsuldarlıq (PFlop/s)
15.11.2015	84.7	137.1
15.11.2016	158.6	256.7
15.11.2017	296.8	480.6
15.11.2018	555.6	899.6
15.11.2019	1.040	1.684
15.11.2020	1.947	3.152

Yaxın illərdə yaradılacaq superkompüterlərin texniki imkanlarını nəzərdən keçirək. Hal-hazırda reyting cədvəlində 2-ci yerdə dayanan “Titan” superkompüterinin yerləşdiyi “Oak Ridge National Laboratory – Yaponiya” elmi mərkəzində “Summit” adlanan yeni superkompüterin yaradılması istiqamətində işlər aparılır və 2017-ci ildə istifadəyə verilməsi nəzərdə tutulur. Yeni yaradılan superkompüterin hesablama gücü “Titan” superkompüterin hesablama gücündən 5 dəfə çox olmaqla 150 PFlop/s olması nəzərdə tutulur [7].

ABŞ-ın “Argonne National Laboratory United States” laboratoriyasında yerləşən, reyting cədvəlində 5-ci yerdə dayanan 10 PFlop/s hesablama məhsuldarlığına malik olan “Mira” superkompüterinin əsasında yeni “Avrora” superkompüterinin yaradılması istiqamətində işlər aparılır. Yaradılan superkompüterin hesablama gücü 180 PFlop/s olacaq və 2019-cu ildə işə salınacaq.

Superkompüterlərin enerjidən istifadəsi həddindən artıq böyükdür. Məsələn: “Tianhe-2” -nin enerjisi tələbatı 17.8 MW, “Mira” -nın enerji tələbatı 8.6 MW və s. : “Tianhe-2” superkompüterinin illik enerjisi tələbatına çəkilən xərclər 24 milyon dollardır. Qeyd edilən problemi aradan qaldırmaq üçün “Green Computing” texnologiyalarından son dövrlərdə geniş istifadə olunur [8,9]. Green Computing – ekoloji yönümlü informasiya-telekommunikasiya texnologiyasıdır. Bu texnologiya əsasında yaradılan kompüter məhsullarında təhlükəli materiallardan az istifadə edilməsi, enerji sərfiyyatının az olması, avadanlıqların istifadə müddətinin çox olması, ətraf mühitə ziyan vurmada iqtisadi cəhətdən ucuz başa gələn utilizasiyanın edilməsi və s. tələblər ödənilməlidir. Bu texnologiyaların tətbiqi ilə əldə olunan müsbət imkanları nəzərdən keçirək. Bu texnologiyaların köməyi ilə “Oak Ridge National Laboratory”-də yerləşən “Titan” superkompüterinin əsasında yaradılan növbəti nəsil “Summit” superkompüterini ondan 1.21 dəfə artıq elektrik enerji sərf etməklə 5 dəfə çox nəzəri məhsuldarlığa sahib olacaq. Eyni vəziyyət “Argonne National Laboratory United States” laboratoriyasında yerləşən “Mira” və onun növbəti nəslini “Aurora”-ya da aiddir. Belə ki, “Mira”-nın nəzəri məhsuldarlığı 3 945.00 kW enerji sərf etməklə 10 PFlop/s-dirsə, “Aurora” təxminən 2.7 dəfə çox enerji sərf etməklə bu məhsuldarlığı 180 PFlop/s-yə (18 dəfə çox) qaldıracaq. Verilənlərin emalı mərkəzində superkompüterlərin yerləşdirilməsi və effektiv işləməsi üçün lazım olan maliyyənin böyük hissəsini bu superkompüterlərin soyutma sistemləri təşkil edir. Yaxın perspektivdə bu xərcləri azaltmaq üçün az xərc tələb edən (Free Cooling Systems) soyutma sistemlərinin tətbiqi nəzərdə tutulur. Qeyd edilən soyutma sistemləri əsasında yaradılan verilənlərin emalı mərkəzləri əsasən soyuq iqlim mühitində yerləşən regionlar və ölkələrdə qurulacaq. Az xərc tələb edən soyutma sistemləri verilənlərin emalı mərkəzində istifadə olunan enerji sərfiyyatını 40 %-a qədər azaldacaq [10].

İslandiyanın gələcəkdə data mərkəz sənayesində vacib rol oynayacağı gözlənilir. Artıq bir neçə böyük şirkət öz növbəti data mərkəzlərini İslandiyada qurmağı perspektivdə görür. İslandiyanın özü də bu sektoru inkişaf etdirmək üçün vacib addımlar atmağı planlaşdırır [11].

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası (AMEA) İnformasiya Texnologiyaları İnstitutunun Data Mərkəzində yerləşən superkompüterin hesablama məhsuldarlığı 14.1 TFlop/s və yaddaşının həcmi 200 TBaytdır. Superkompüter AMEA-nın institut və təşkilatlarına elektron poçt, internet və hosting xidməti göstərir. Bundan əlavə superkompüterdən akademiyanın institut və təşkilatlarında meydana çıxan böyük hesablama və yaddaş resursları tələb edən mürəkkəb məsələlərin həllində də istifadə edirlər. Azərbaycan Respublikasının Rabitə və Yüksək Texnologiyalar Nazirliyində Superkompüter mərkəzinin yaradılması sahəsində məqsədyönlü işlər aparılır və 2015-ci ilin sonlarında işə salınması nəzərdə tutulur.

NƏTİCƏ

Məqalədə superkompüter texnologiyalarının hazırkı vəziyyəti təhlil olunmuş və onların müxtəlif göstəricilər üzrə paylanma dinamikası analiz edilmişdir. Yaxın perspektivdə superkompüterlərin inkişaf dinamikası araşdırılmışdır. Eyni zamanda, superkompüterlərin böyük həcmli verilənlərin (Big Data) emalı mərkəzlərində istifadə olunması təhlil edilmişdir. Superkompüterlərin enerji sərfiyyatını azaltmaq üçün yeni texnologiyalardan istifadə məsələlərinə baxılmışdır.

TƏŞƏKKÜR NƏMƏ

Bu iş Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun maliyyə yardımı ilə yerinə yetirilmişdir – **Qrant № EIF-2014-9(24)-KETPL-14/02/1.**

ƏDƏBİYYAT

- [1] Воеводин В.В., Воеводин Вл.В., “Параллельные вычисления”, Санкт-Петербург: БХВ - Петербург, 2002, 608 с.
- [2] “Задачи для суперкомпьютеров”, <http://parallel.ru/research/apps.html>
- [3] <http://parallel.ru>
- [4] Корнев В.В., “Вычислительные системы”, Москва: Гелиос АРВ, 2004, 512 с.
- [5] <http://www.top500.org>
- [6] С.М. Абрамов, Е.П. Лилитко, “Состояние и перспективы развития вычислительных систем сверхвысокой производительности”, <http://paco2012.ipu.ru/procdngs/P103.pdf>
- [7] “Ranking of supercomputers according to the LINPACK benchmark”, www.top500.org
- [8] <http://www.theplatform.net/2015/08/04/future-systems-pitting-fewer-fat-nodes-against-many-skinny-ones/>
- [9] “Что такое зеленые вычисления или зеленые информационные технологии”, <http://nature-time.ru/2014/07/zelenyie-vyichisleniya-ili-zelenyie-informatsionnyie-tehnologii/>
- [10] www.green500.org
- [11] <http://searchdatacenter.techtarget.com/video/Iceland-blueprints-for-a-data-center-industry>