

# Суперкомп'ютери: сповільнення росту показників, проекти інновацій

Комухаєв Е.Г., Черепинець В.В.

*Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, пр. Глушкова, 40, м. Київ, Україна*

**Анотація.** Сповільнення росту показників суперкомп'ютерів прогнозують принаймні до 2016 року. Інновації компаній Intel, IBM, Cray, NVidia. Перспективність інтелектуалізації.

## Ключові слова

Рейтинги HPC, вдосконалення процесорів Intel Xeon E5, Intel Xeon Phi, IBM Power, NVidia Tesla, інноваційні інтерконекти Intel, Cray, NVidia, інтелектуалізація.

## 1 Особливості рейтингів середини 2014 р.

Чергові суперкомп'ютерні світові рейтинги [1, 2, 3, 4] середини 2014 року свідчать про сповільнення росту основних показників. Найбільший застій демонструє список 43 головного рейтингу Top 500. Перша десятка систем списку 43 майже не змінилась відносно списку 42 за листопад 2013 року [1].

Згідно списку 43 шість найбільш потужних систем знаходяться в США, по одній – в Китаї, Японії, Швейцарії, Німеччині.

Незмінним лідером списків 41, 42, 43 залишається китайська система Tianhe-2, головним недоліком якої є величезні енерговитрати – 17808 kW.

Відомий експерт Дж. Донгарра вважає, що реальне освоєння ексафлопсних показників необхідно спочатку забезпечити розробкою технологій енергоефективності на рівні досягнення 50 гігафлопс на Вт.

Вагомий внесок в енергоефективність суперкомп'ютерів створюють графічні прискорювачі компанії NVidia.

Новий список найбільш енергоефективних систем Green500 очолюють 15 суперкомп'ютерів, які використовують графічні прискорювачі NVidia K20 або K40. Ці 15 суперкомп'ютерів представлені в таблиці 1.

**Таблиця 1.** Перші 15 позицій списку Green 500 за червень 2014 року

Місце	MFLOPS/W	Розташування	Система	Потужність (kW)
1	4,389.82	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology	TSUBAME-KFC - LX 1U-4GPU/104Re-1G Cluster, Intel Xeon E5-2620v2 6C 2.100GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x	34.58
2	3,631.70	Cambridge University	Wilkes - Dell T620 Cluster, Intel Xeon E5-2630v2 6C 2.600GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20	52.62
3	3,517.84	Center for Computational Sciences, University of Tsukuba	HA-PACS TCA - Cray 3623G4-SM Cluster, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.800GHz, Infiniband QDR, NVIDIA K20x	78.77
4	3,459.46	SURFsara	Cartesius Accelerator Island - Bullx B515 cluster, Intel Xeon E5-2450v2 8C 2.5GHz, InfiniBand 4x FDR, Nvidia K40m	44.40
5	3,185.91	Swiss National Supercomputing Centre (CSCS)	Piz Daint - Cray XC30, Xeon E5-2670 8C 2.600GHz, Aries interconnect, NVIDIA K20x	1,753.66

Місце	MFLOPS/W	Розташування	Система	Потужність (kW)
6	3,131.06	ROMEO HPC Center - Champagne-Ardenne	romeo - Bull R421-E3 Cluster, Intel Xeon E5-2650v2 8C 2.600GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x	81.41
7	3,019.72	CSIRO	CSIRO GPU Cluster - Nitro G16 3GPU, Xeon E5-2650 8C 2GHz, Infiniband FDR, Nvidia K20m	86.20
8	2,951.95	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology	TSUBAME 2.5 - Cluster Platform SL390s G7, Xeon X5670 6C 2.93GHz, Infiniband QDR, NVIDIA K20x	927.86
9	2,813.14	Exploration & Production - Eni S.p.A.	HPC2 - iDataPlex DX360M4, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.8GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x	1,067.49
10	2,678.41	Financial Institution	iDataPlex DX360M4, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.800GHz, Infiniband, NVIDIA K20x	54.60
11	2,629.42	Financial Institution	iDataPlex DX360M4, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.800GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x	66.25
12	2,629.42	Financial Institution	iDataPlex DX360M4, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.800GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x	66.25
13	2,629.42	Financial Institution	iDataPlex DX360M4, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.800GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x	66.25
14	2,629.42	Financial Institution	iDataPlex DX360M4, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.800GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x	66.25
15	2,629.10	Max-Planck-Gesellschaft MPI/IPP	iDataPlex DX360M4, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.800GHz, Infiniband, NVIDIA K20x	269.94

Значно зростає використання високопродуктивних систем для обробки різноманітних даних. Ця тенденція разом з вимогами максимального енергозбереження знайшла відображення в появі нового рейтингу Green Graph 500. В червні 2014 року на ISC 2014 в Лейпцигу представлений вже третій офіційний список Green Graph 500 (див. таблицю 2).

**Таблиця 2.** Списки Green Graph 500 (за червень 2014 року)

Категорія Big Data

Місце	MTEPS/W	Розташування	Система	Місце в G500	Scale	GTEP S	Вузлів	Ядер
1	<b>59.12</b>	Kyushu University	GraphCREST-SandybridgeEP-2.4GHz	57	30	28.48	1	32
2	<b>48.29</b>	Kyushu University	GraphCREST-Sandybridge-EP-2.7GHz	59	30	31.95	1	32
3	<b>35.21</b>	Tokyo Institute of Technology	GraphCREST-Custom #1	71	31	13.8	1	32
4	<b>28.88</b>	Tokyo Institute of Technology	MEM-CREST Node #2	85	30	7.98	1	16
5	<b>17.24</b>	Kyushu University	GraphCREST-Bulldozer	72	31	13.63	1	64
6	<b>14.06</b>	Tokyo Institute of Technology	TSUBAME-KFC	46	32	104.31	32	384
7	<b>12.48</b>	The Institute of Statistical Mathematics	ismuv2k2	42	32	131.43	1	640

Місце	MTEPS/ W	Розташування	Система	Місце в G500	Scale	GTEP S	Вузлів	Ядер
8	<b>5.41</b>	Forschungszentrum Julich (FZJ)	JUQUEEN	4	38	5848	16384	26214 4
9	<b>4.42</b>	Argonne National Laboratory	DOE/SC/ANL Mira	3	40	14328	32768	52428 8
10	<b>4.35</b>	Tokyo Institute of Technology	EBD- RH5885v2	105	30	3.67	1	48
11	<b>3.55</b>	Lawrence Livermore National Laboratory	DOE/NNSA/LL NL Sequoia	2	40	15363	65536	10485 76
12	<b>3.42</b>	Tokyo Institute of Technology	EBD- RH5885v2	108	33	3.12	1	48
13	<b>2.28</b>	The University of British Columbia	Alkindi2	125	30	1.36	1	-
14	<b>1.89</b>	Research Center for Advanced Computing Infrastructure	altix	51	30	37.66	1	512
15	<b>0.73</b>	Mayo Clinic	grace	79	31	10.32	64	64
16	<b>0.05</b>	Institute of Mathematics and Mechanics UrB RAS	URAN	110	30	2.8	16	1984

Категорія Small Data

Місце	MTEPS/ W	Розташування	Система	Місце в G500	Scale	GTEP S	Вузлів	Ядер
1	<b>445.92</b>	George Washington University	Colonial	43	20	122.18	1	12
2	<b>235.15</b>	Kyushu University	GraphCREST- Xperia-Z1-SO- 01F	138	20	1.03	1	4
3	<b>230.41</b>	Kyushu University	GraphCREST- Xperia-A-SO- 04E	151	20	0.74	1	4
4	<b>204.38</b>	Tokyo Institute of Technology	EBD- GoldenBox- Prototype	119	21	1.64	1	5
5	<b>180.76</b>	Kyushu University	GraphCREST- Xperia-A-SO- 04E	156	21	0.59	1	4
6	<b>171.77</b>	Kyushu University	GraphCREST- Xperia-Z1-SO- 01F	143	21	0.91	1	4
7	<b>153.17</b>	Chuo University	GraphCREST- Xperia-A-SO- 04E	-	20	0.478	1	4
8	<b>129.63</b>	Tokyo Institute of Technology	GraphCREST- NEXUS7-2013	158	20	0.534	1	4
9	<b>87.12</b>	Kyushu University	GraphCREST- SandybridgeEP- 2.4GHz	57	27	41.8	1	32
10	<b>73.57</b>	University of Tsukuba	kitty6	67	25	17.21	1	8
11	<b>68.74</b>	Kyushu University	GraphCREST- Sandybridge- EP-2.7GHz	52	27	45.71	1	32

Місце	MTEPS/ W	Розташування	Система	Місце в G500	Scale	GTEP S	Вузлів	Ядер
12	<b>64.12</b>	Chuo University	GraphCREST- Tegra3	-	20	0.154	1	4
13	<b>53.82</b>	Chuo University	GraphCREST- Intel-NUC	136	23	1.082	1	2
14	<b>53.47</b>	Chuo University	GraphCREST- Mac-mini	-	24	1.941	1	4
15	<b>52.02</b>	Chuo University	GraphCREST- MBA13	131	23	1.228	1	2
16	<b>51.62</b>	Chuo University	GraphCREST- Retina15	-	24	1.987	1	4
17	<b>45.43</b>	Chuo University	GraphCREST- 4Way- SandybridgeEP- 2.4GHz	-	27	29.034	1	64
18	<b>41.01</b>	Chuo University	GraphCREST- Sandybridge- EP-2.7GHz	-	27	31.648	1	64
19	<b>39.29</b>	Changsha, China	TH-IVB-FEP/C	81	26	9.744	1	24
20	<b>32.25</b>	Chuo University	GraphCREST- NEXUS10	-	20	0.119	1	2
21	<b>30.41</b>	Tokyo Institute of Technology	ULP2012 ultra- green oil-cooled server: GraphCREST	94	24	5.124	1	12
22	<b>29.47</b>	Chuo University	GraphCREST- Sandybridge- EP-2.7GHz	-	29	22.983	1	64
23	<b>20.58</b>	Chuo University	GraphCREST- SBep2.0	-	25	6.142	1	16
24	<b>18.68</b>	Chuo University	GraphCREST- SBep2.9	-	25	6.777	1	16
25	<b>17.39</b>	Chuo University	GraphCREST- 4waySBep2.4	-	26	11.115	1	32
26	<b>10.95</b>	Chuo University	GraphCREST- Wex40	-	26	11.061	1	40
27	<b>10.25</b>	Tokyo Institute of Technology	MEM-CREST Node #1	107	29	3.112	1	16
28	<b>2.43</b>	The University of British Columbia	Alkindi	132	28	1.206	1	-
29	<b>1.89</b>	University of Luxembourg	Viridis HPC@Uni.lu	161	21	0.389	32	128

Багаторічний лідер списків Top 500 недавнього минулого компанія IBM в своїх суперкомп'ютерах поки не використовувала ресурси прискорювачів. Зараз її випереджають дві системи з ефективними прискорювачами.

Серед цих систем теперішній лідер Tianhe-2 з прискорювачами Intel Xeon Phi та друга в списку система Titan-Cray X з прискорювачами NVidia K20x, які взаємодіють з процесорами AMD Opteron та ресурсами Cray Gemini Interconnect. Компанія Cray тепер реально претендує на світове лідерство в зв'язку з одержанням замовлення на побудову суперкомп'ютера наступного покоління з мультипетафлопсною продуктивністю від Національного управління з ядерної безпеки США.

Також суперкомп'ютер нового покоління з продуктивністю квінтильйон (10 в 18 ступені) обчислень на секунду планує створити японський державний інститут Riken для потреб моделювання сценаріїв стихійного лиха, розробок автомобільної промисловості.

З великою ймовірністю лідерство в Top 500 незабаром поверне компанія IBM, яка планує ефективно поєднати ресурси нових прискорювачів, інтерконекту та власних нових процесорів. Більш детально перспективні інновації розглянемо в розділах 2, 3.

## 2 Інновації процесорів

Анонсовано низку перспективних розробок процесорів, прискорювачів для підвищення продуктивності, енергоефективності, рівня інтелектуалізації, розширень сфер застосування суперкомп'ютерів. Нижче більш детально розглянемо перспективні розробки компаній Intel, IBM, NVidia [5, 6, 7].

Багато суперкомп'ютерів побудовані на чипах процесорів Intel Xeon E5 версії 2, серед них світовий лідер Tianhe-2, суперкомп'ютер Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАНУ СКІТ-4.

Недавно компанія Intel анонсувала випуск версії 3 процесора Xeon E5. В таблиці 3 наведені характеристики Intel Xeon E5 v3. Чипи версії 3, як і версії 2, будуть вироблятися на базі техпроцесу 22 нм.

**Таблиця 3.** Інноваційні процесори Intel Xeon E5 v3

Model	Cores / Threads	Frequency	L3 cache	QPI	Memory	TDP
<b>Xeon E5-2608L v3</b>	6 / 12	2 GHz	15 MB	6.4 GT/s	No data	50 Watt
Xeon E5-2609 v3	6 / 12	1.9 GHz	15 MB	6.4 GT/s	DDR4-1600	85 Watt
<b>Xeon E5-2618L v3</b>	8 / 16	2.3 GHz	20 MB	8 GT/s	No data	75 Watt
Xeon E5-2620 v3	6 / 12	2.4 GHz	15 MB	8 GT/s	DDR4-1866	85 Watt
<b>Xeon E5-2628L v3</b>	10 / 20	2 GHz	25 MB	8 GT/s	No data	75 Watt
Xeon E5-2640 v3	8 / 16	2.6 GHz	20 MB	8 GT/s	DDR4-1866	90 Watt
<b>Xeon E5-2648L v3</b>	12 / 24	1.8 GHz	30 MB	9.6 GT/s	No data	75 Watt
<b>Xeon E5-2658 v3</b>	12 / 24	2.2 GHz	30 MB	9.6 GT/s	No data	105 Watt
Xeon E5-2680 v3	12 / 24	2.5 GHz	30 MB	9.6 GT/s	DDR4-2133	120 Watt

На базі техпроцесу 14 нм компанія Intel анонсувала випуск в 2015 році Intel Xeon E5 v4 з архітектурою Broadwell-EP з відповідним підвищенням швидкодії, енергоефективності, зниженням габаритів, ціни. В 2015 році компанія Intel також планує випуск прискорювачів Xeon Phi на базі техпроцесу 14 нм.

В редакції 43 рейтингу Top500 сопроцесори Xeon Phi покоління Knights Corner на базі техпроцесу 22 нм представлені в 17-ти суперкомп'ютерах. Зокрема, в китайському суперкомп'ютері Tianhe-2 задіяні 48 тисяч прискорювачів Xeon Phi 31S1P.

В Лейпцигу на конференції ISC 2014 компанія Intel анонсувала нове покоління Xeon Phi – Knights Landing. Пікова швидкодія цих прискорювачів з числом модифікованих ядер до 72 в три рази вища, ніж для чипів Knights Corner, використовується технологія інтерконекту Omni Scale Fabric.

Проведена оптимізація ядер Xeon Phi дозволить використовувати його не тільки в якості прискорювача центрального процесора через шину PCI e3, але і в якості самостійного процесора.

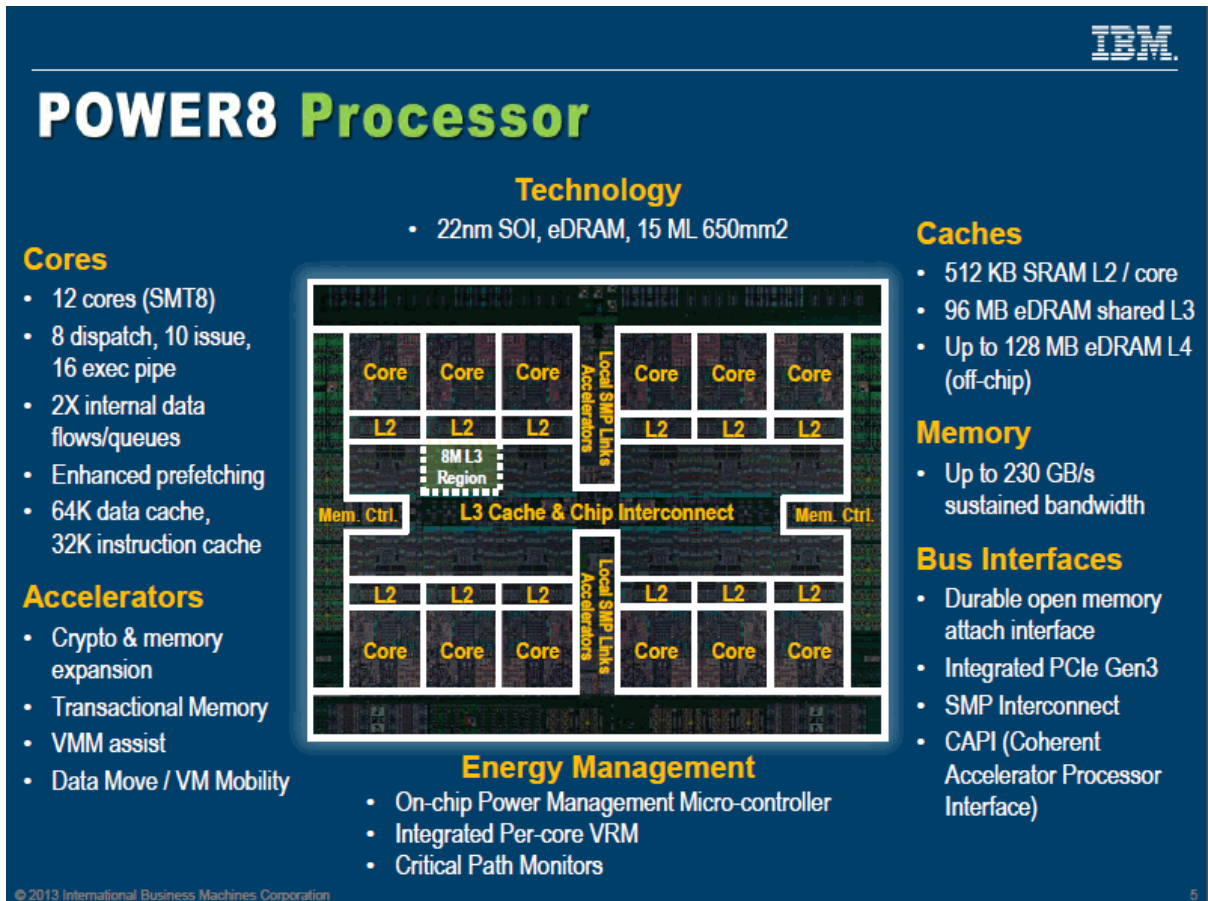
На мал. 1 представлений зовнішній вигляд Xeon Phi обох поколінь.



**Мал.1** Intel Xeon Phi двох поколінь

Багатообіцяючі інновації для суперкомп'ютерних застосувань 2015-2016 рр. анонсує компанія IBM. Серед них виділяється новий 12-ти ядерний процесор Power8, який приблизно вдвічі більш продуктивний, ніж чип Power7, зокрема, раніше застосований в «інтелектуальному» суперкомп'ютері IBM Watson.

В чип Power8 інтегровано спеціальний конектор для підключення графічних прискорювачів, чипів FPGA, DSP, ASIC. Мікропроцесор Power8 виготовляється за технологією 22 нм, зовнішні компоненти підключають через порт CAPI (Coherent Accelerator Processor Interface). Структура Power8 представлена на мал. 2.



Мал.2 Структура процесора Power8

Вперше корпорація IBM розкриває інтелектуальну власність на Power, яку пропонує іншим компаніям через альянс розробників Open Power Consortium. На базі Power8 корпорація IBM створює масштабну екосистему, для якої розробляє відкритий стек програмного забезпечення.

Разом з компанією NVidia корпорація IBM створює швидкісний інтерконект NVidia NVLink, який буде інтегрований в чипи нових версій Power8. Більше детально про інтерконект NVidia NVLink читайте в розділі 3.

### 3 Інновації інтерконекту

Ключову роль для значного підвищення продуктивності суперкомп'ютерів відводять розробкам інноваційного інтерконекту. Виділяють, з одного боку, ефективні відкриті універсальні комерційні рішення, зокрема, компанії Mellanox, та спеціалізовані рішення інтерконекту для конкретних великих комплексів.

Особливо складні, дорогі та закриті рішення замовних спеціалізованих інтерконектів для великих систем.

Китайський лідер Tianhe-2 використовує спеціалізований інтерконект TH Express 2 власної розробки. На другій позиції рейтингу Top500 - система Titan-Cray XK7, яка використовує рішення Cray Gemini Interconnect, Sequoia – Blue Gene/Q використовує рішення Custom IBM (3 місце рейтингу), японська система K Computer використовує Tofu Interconnect (4 місце), система Mira Blue Gene/Q використовує Custom IBM (5 місце), швейцарська система Piz Daint – Cray XC30 використовує новітні рішення Agies Cray (6 місце).

І лише на сьомій позиції для системи Stampede використано доступний комерційно стандартний інтерконект Infiniband FDR компанії Mellanox.

Розвитком інноваційних рішень швидкісного інтерконекту виділяється компанія Cray [8], яка створила вищезгадані ефективні структури Gemini та Aries. Технології Gemini придбала компанія Intel за 140 млн. доларів, включаючи права на 34 патенти та патентні заявки компанії Cray, з умовою переходу в Intel групи 74 компетентних проєктувальників з Cray.

Компанія Intel з використанням патентованих технологій Gemini тепер створює власний інтерконект Omni Scale Fabric, структури якого будуть в 2015 році інтегровані в нові процесори Intel, включаючи Xeon Phi v2.

Корисною новою масштабованою відкритою структурою управління операціями може стати рішення згідно патенту України [9].

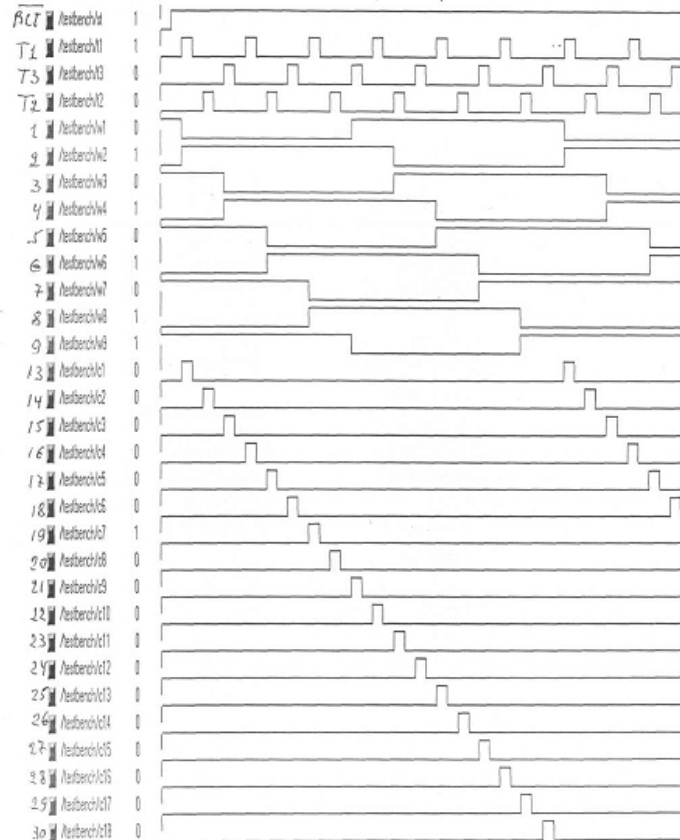
Працездатність цього способу та пристрою трифазного розподілення імпульсів управління доведена шляхом моделювання в системі ModelSim компанії Xilinx, багаторічного світового лідера розробки чипів FPGA.

Як правило, перевірка надвеликих інтегральних схем перед виготовленням в якості замовних ASIC Interconnect виконується на базі гнучкої реалізації на окремих чипах FPGA. Після моделювання, усунення помилок з використанням чипа-прототипу на гнучких структурах FPGA починають серійний випуск чипів замовних ASIC.

На мал.3 представлений результат ModelSim-моделювання оригінального трифазного розподільвача 18 управляючих імпульсів, для формування яких потрібно лише 9 переключень регістрових каскадів, тобто ефективність вдвічі краща, ніж у відомих рішень, коли кожен імпульс – результат не менше одного переключення. Для сучасних чипів енергія витрачається саме в динаміці переключень, а в статичі майже відсутні енерговитрати.

Цей приклад ілюструє інноваційний спосіб та пристрій [9] двохпотокowego формування системних синхроімпульсів з дешифраторів з виходів каскадів m-каскадного багатостабільного триггера на стандартних логічних схемах при синхронізації  $n > 1$  фазами. При цьому  $n$  та  $m$  повинні бути непарними, причому  $m$  кратне числу фаз  $n$ .

Один потік синхроімпульсів формується дешифраторами в динаміці під час фаз переключення чергових пар каскадів багатостабільного триггера. Другий потік  $m$  синхроімпульсів формується при чергових фазах статичі каскадів.



Мал. 3 Діаграма інноваційного розподільвача імпульсів

Особливо багатообіцяючою виглядає розробка компанією NVidia разом з IBM високошвидкісного інтерконекту NVidia NVLink, який дозволить GPU та CPU прискорити обмін даними до 12 разів з підвищенням загальної продуктивності в 50-100 разів.

NVLink стане частиною архітектури GPU Pascale з застосуванням в 2016 році.

IBM планує ввести цей новий інтерфейс в нові версії процесорів Power. Інтерфейс NVLink оптимізує доступ GPU до системної пам'яті CPU, підвищить енергоефективність. На базі інноваційних можливостей NVidia NVLink планують збільшити рівень продуктивності суперкомп'ютерів до 1000 петафлопс.

## 4 Перспективність інтелектуалізації

Модернізація «інтелектуального» суперкомп'ютера IBM Watson включає заміну його процесорів Power7 на інноваційні Power8. Перехід на Power8 забезпечить системі Watson ефективну організацію сервісів хмарних обчислень, вдосконалив обробку великих даних, розширить застосування для фінансового сектору, освіти, медицини.

Суперкомп'ютер Watson ефективно відповідає на питання, введені на англійській мові. Сервіс працює по аналогії і людським мозком: генерує точки інтересу, точки зв'язків з імітацією нейронів, синапсів головного мозку.

Програма Watson Discovery Advisor концентрує зміст, відсіює «шумову» інформацію. Виручка компанії IBM від суперкомп'ютера Watson поки склала до жовтня 2013 року 100 млн. доларів, згідно планів IBM підрозділ Watson Business Group в 2018 році забезпечить виручку більше 1 млрд. доларів, після 2024 року – більше 10 млрд. доларів щорічно.

Компанії Google, Microsoft замовили розробки «хмарного мозку» для вдосконалень роботів (Robo Brain) провідним університетам. За оцінками TechSciResearch тепер світовий ринок засобів штучного інтелекту складає 950 млн. доларів, а в 2018 році зросте до 37 млрд. доларів.

## 5 Висновки

1. Зростання показників суперкомп'ютерів значно сповільнилось принаймні до 2016 року, в якому почнеться випуск анонсованих інноваційних засобів компаній Intel, IBM, Cray, NVidia та інших. В зв'язку з актуальністю вдосконалень обробки великих даних збільшилась кількість систем, протестованих згідно рейтингів Graph500, Green Graph500.
2. Зростаючі потреби науки, техніки, промисловості, економіки, екології, оборони, медицини зумовили значне розширення ринку різноманітних систем. Так, компанія Cray не тільки випускає надпотужні системи Cray XC30 з водяним охолодженням, але й розширює випуск недорогих систем XC-AC (з повітряним охолодженням) з потужністю від 22 до 176 терафлопс відповідно за 0,5-3 млн. доларів з тенденцією зниження цін завдяки інноваціям.
3. Перспективні процесорні інновації анонсували компанії Intel, IBM, NVidia. В галузі вдосконалень інтерконектів важливі інноваційні рішення анонсували Intel, IBM, Cray, NVidia.
4. Для модернізації суперкомп'ютера СКІТ-4 Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України [10] вже доступні інноваційні процесори Intel Xeon E5 версії 3, NVidia K40 для відповідних заміни чи доповнень до працюючих в ньому чипів Intel Xeon E5 v2 та NVidia K20.
5. На базі суперкомп'ютерів розвиваються сервіси інтелектуалізації, особливо для потреб фінансового сектору, медицини, освіти, обробки великих даних. Лідером цього напрямку став суперкомп'ютер IBM Watson, який модернізували введенням інноваційних процесорів IBM Power8.

## Література

- [1] Рейтинг Top500 <http://www.top500.org/>
- [2] Рейтинг Green500 <http://www.green500.org/>
- [3] Рейтинг Graph500 <http://www.graph500.org/>
- [4] Рейтинг Green Graph500 <http://green.graph500.org/>
- [5] Сайт Intel <http://www.intel.ua/>
- [6] Сайт IBM <http://www.ibm.com/>
- [7] Сайт NVidia <http://www.nvidia.com/>
- [8] Сайт Cray <http://www.cray.com/>
- [9] Комухаєв Е. Спосіб та пристрій розподілення імпульсів // Опис патенту UA. 105023, Бюл. №7, 2014.
- [10] Суперкомп'ютер Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України <http://icybeluster.org.ua/>