



# Суперкомпютрите - в началото и сега

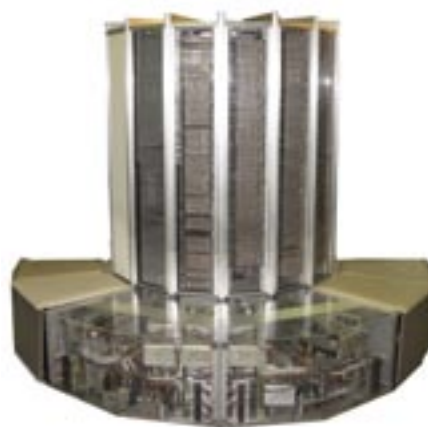
Божидар Стефанов (Плевен)  
boby\_dg@abv.bg

Наскоро фокусът на вниманието беше насочен върху суперкомпютрите, след като нашият световен шампион по шах Веселин Топалов избра като опонент за защитата на титлата си не Владимир Крамник, а суперкомпютъра Хидра. За незапознатите е добре да спомена, че Хидра е един от трите шах-суперкомпютъра, които се намират в Абу Даби и са опоненти от 'отбора на машините' в ежегодни шах състезания, в които хора са изправят срещу машини. Въпреки, че бих се отнесъл скептично към шансовете на нашият състезател той вече направи своя избор и единственото, което можем да направим е да му пожелаем успех, но този избор наистина повдигна у мен интерес към суперкомпютрите и доста се поразрових из различни източници, в резултат от което се появи тази статия, която споделям с вас. Ако някога сте се чудили как работят суперкомпютрите, кой е най-бързият в момента и каква е тяхната история – тази статия е за вас, ако ли не – надявам се поне да бъде един приятен начин да прекарате свободното си време. Приятно четене.

## Клъстери, производителност, флопове и Myrinet мрежи

Навсякъде в тази статия, като мярка за мощността на компютрите е използвана единицата флоп (FLOPS). FLOPS е абривиатура от Floating point Operations Per Second – операции с плаваща запетая в секунда, която представя броят такива операции, които даден компютър може да извършва за една секунда. Единицата може да носи наставка, която да показва мястото в десетичните числа, които заема тя – така имаме мега-, гига-, тера-, пета- и екса- флопове. Един модерен компютър, с процесор Pentium или Athlon на 2GHz средно има производителност от няколко гигафлопа. Друга единица за мощност е MIPS – Millions of Instructions Per Second - Милиони инструкции в секунда, но FLOPS е по-показателна за математическа мощ, защото операциите с плаваща запетая са много по-сложни за изпълнение от обикновените аритметични такива. Другата дума, която често ще се среща в тази статия е клъстер. Тя е английска дума и означава буквално куп или струпване. В компютърния свят, когато говорим за клъстер имаме в предвид мрежа от устройства, между които се разпределя работата. При суперкомпютрите всяко едно от тези устройства (наричани за по-кратко изчислителни възли или просто възли) представлява цял по-малък компютър с няколко процесора, своя оперативна памет и дори в някои случаи твърд диск. Работата на всички устройства в клъстера едновременно за обработка на информация се нарича паралелна, а изчисленията, които се извършват - паралелни изчисления. За да работят всички елементи на клъстера трябва да има физическа връзка между тях. При малките, любителски клъстери това може да се направи и чрез обикновена LAN мрежа, но нейната скорост далеч не е достатъчна за бързите потоци информация в суперкомпютрите – затова връзката между елементите на един суперкомпютърен клъстер обикновено се изпълнява чрез създаване на специална мрежа, наречена мрежа тип Myrinet. Myrinet мрежите са създадени от компания на име Myricom и е стандартен начин за връзка в повечето суперкомпютри. Myrinet мрежите са изградени на базата на фиброоптична технология и най-новите им варианти имат скорости от над 2GB/s. И въпреки това тези мрежи запазват една изключителна хардуерна простота, защото всички потоци между два техни елемента в тях се извършват през един единствен оптичен кабел.

Първият известен и успешен суперкомпютър бил Cray-1, създаден от екип начело със Сеймор Крей, от компанията Cray Research. Преди да започне работа по Cray-1, Крей работил в корпорация, наречена Control Data Corporation, която се занимавала с разработка точно на такива мощни компютри. В началото на 70-те той работел по проект, наречен CDC-8600. Проектът за този компютър, обаче бил невероятно сложен и напрано невъзможен за изработка – за няколко години работа Крей нямал успех, а CDC имали финансови проблеми и не могли да отделят повече средства за неговият проект. Затова Крей напуснал корпорацията в края на '72-ра и сформирал нова компания, която нарекъл Cray Research Inc. Три години по-късно, през 75-та новосъздадената компания обявила първият си продукт – суперкомпютъра Cray-1. Той предизвикал истински фурор и война в наддаване за него между двете национални лаборатории за ядрени изследвания на САЩ – тази, която се намира в Лос Аламос и Лорънс Ливърмор, която пък е в Калифорния. Първият Cray-1 бил отстъпен за 6-месечен пробен период на тази в Лос Аламос, но първия официален клиент на Cray станал Националният Център за Атмосферни Изследвания, в средата на '77-ма.



Цената на първият Cray била 8.8 милиона долара, а продажбите надминали очакванията на Крей – вместо първоначалните предположения за най-много дузина продадени машини, компанията продала над 80 такива, на цени средно между 5 и 8 милиона долара. Едно от най-уникалните неща в новият суперкомпютър било това, че в него за пръв път се използвали интегрални схеми – всички големи компютри дотогава се състояли от модули, направени само от прости елементи като резистори, транзистори и диоди. В резултат от употребата на чиповете, които се били появили в края на 60-те, компютрите на Cray били много по-малки и евтини от всичко виждано дотогава на този пазар. Първите компютри Cray се правели в огромни многоъгълни C-образни корпуси, които съдържали стотици модули, с интегрални схеми. Всеки модул представлявал печатна платка, която се поставя в слот и ставала част от клъстера – общо тези платки били над 1 600 на брой. Модулите работели на честота от 80MHz, която днес е най-малко впечатляваща, но все пак говорим за 70-те години на миналия век, когато първите домашни компютри били на честоти най-много до 1MHz. Общата мощ на компютъра на Крей била около 160 милиона инструкции в секунда (MIPS), но благодарение на паралелната работа на няколко изчислителни единици тя достигала и надвишавала 250 MIPS. Успехът на първият компютър на Cray Research бил страхотно начало за новосъздадената компания и затова не е чудно, че компютъра бил последван от няколко наследника. Първият от тях бил Cray-2, който се появил в средата на 80-те и довел до значително подобрене на технологията на суперкомпютрите. Но дори и те не могат да се сравняват с това, което донесъл, като подобрения Cray-3. Той се появил към края на 80-те и бил един от най-големите проекти на Cray Research тогава – най-забележителното в него били новите галиево-арсенови (GaAs) чипове, които били използвани в него. Точно те и по-добрите свойства на този полупроводник направили възможно Cray-3 да стане първият суперкомпютър, който минал границата на производителност от 1 гигафлоп. Първите версии на този компютър работели на честоти от около 500MHz, но с напредъка на технологията най-подобрените последни версии и новият Cray-4, който също бил базиран

на GaAs чипове да достигне честоти от 1GHz. Това било наистина забележително за времето си и направило Cray синоним на думата суперкомпютър. Всички тези модели станали много известни, най-вече със своя дизайн, който се припокривал до голяма степен с този на Cray-1 – правилните C-образни многоъгълни корпуси станали запазена марка на Cray Research. Тези компютри били последвани от доста модели, които няма да засягаме тук – ще се спра по-подробно само на един от тях – Cray T3D, който се появил през 1993-та година. Сигурно се чудите с какво той е привлякъл вниманието ми – първо за разлика от тези преди него той бил първият суперкомпютър на Cray, който ползвал клъстерен подход и стандартни процесори. Cray искали да създадат огромен и мощен компютър за паралелни изчисления и за тази цел изборът им на процесор се спрял върху 150MHz-вия DEC Alpha EV4. Клъстера на Cray T3D се състоял от между 32 и 2048 изчислителни възела, всеки от които се състоял от по един такъв процесор и между 16 и 64MB оперативна памет. Несъмнено най-интересната част от Cray T3D бил вграденият в корпусът му Apple Powerbook лаптоп (дисплеят в горната част на корпусът е негов), чиято единствена цел била да показва в анимация логотата на Cray. Връзката между Cray и Apple бил доста голяма в началото на 90-те – дори има история, че след като от Apple закупили един суперкомпютър Cray X-MP и съобщили, че ще го използват в разработката на новият си Macintosh, самият Сеймор Крей казал “Това е много интересно, защо аз самият използвах Apple Macintosh, когато разработвах своя Cray-2 суперкомпютър.”



## Преди началото

За първия суперкомпютър в историята се приема Cray-1, създаден от компанията Cray, която и до днес произвежда такива машини, но аз лично имам друг фаворит. Става дума за проект, който е толкова огромен в мащабите си, че дори и днес е наистина изумителен : Semi-Automatic Ground Environment или просто SAGE е първия огромен компютър, в историята. Той се използвал от 50-те до 80-те години в Америка за наземен контрол и защита на въздушното пространство. SAGE е толкова уникален, защото той наистина е изпреварил времето си. Появил се в края на 50-те години той използвал най-доброто от компютърният свят тогава. Представлявал огромна мрежа от 27 гигантски компютри от най-мощните тогава – AN/FSQ-7 на IBM. Днес тези компютри изглеждат толкова невероятно само по описание, че направо изумяват с това какви неща е могъл да измисли човекът още в средата на 20-ти век – всеки от тях представлявал огромна 4-етажна сграда, в която всяко отделно устройство заемало огромни стаи. Всеки компютър се състоял общо от над 55 хиляди електронни лампи и имал собствена електроцентрала и водни кули за охлаждане. Само един от 27-те възела на мрежата струвал над \$238 милиона и в разгънатата площ заемал над 2 000 квадратни метра. Цялата система се управлявала в реално време от стотици терминали в сградите, на които се извеждала информация, която компютрите обработвали от стотици радари. Системата имала и център за управление, в който военните разполагали с огромна зала, където на големи екрани се извеждала най-важната информация. Просто не мога да си представя как са се чувствали хората в тази зала, знаейки колко мощ работи за тях, за да виждат този образ в реално време.



И все пак – кой е най-мощният компютър в света? Отговора на този въпрос е един – BlueGene. Проектът BlueGene е съвместен проект на IBM и американското министерство на енергетиката, за създаване на суперкомпютри, чиято мощност се доближава до петафлопите. В момента проектът има пет варианта,

един от които е най-мощният компютър на Земята според класацията TOP500 – BlueGene/L. Компютрите BlueGene, като повечето суперкомпютри днес имат кълстерна архитектура. За да разберем как е структуриран BlueGene най-лесно можем да го раздробим на съставни елементи степен по степен.



BlueGene/L се състои от 64 шкафа, всеки от които съдържа определен брой възли. Освен възлите тези шкафове съдържат захранвания и охлаждане за тях, а и оборудването за Myrinet мрежата. Всеки шкаф съдържа две редици по 16 слота, заети с чекмеджета възли. Всяко от 16-те чекмеджета съдържа по 32 процесорни карти. Тези карти могат да се определят като най-малката структурна част от целият суперкомпютър и представлява цял малък компютър. Всяка карта съдържа два процесорни чипа с 4MB вградена памет и 1GB оперативна памет и представлява един възел от системата. Като направим една сметка излиза, че в цялата система има общо 65 636 възела и 32TB оперативна памет, а като се има в предвид, че един възел от системата има производителност от около 5.6 гигафлопа можем да изчислим, че цялата производителност на системата е над 360 терафлопа(!). Наистина невероятно. Всички BlueGene компютри се намират в различни изследователски центрове на територията на САЩ, но и старият континент също не изостава в технологията. В Европа също има суперкомпютри. Най-мощният от тях за момента е Mare Nostrum, който се намира в Барселона, Испания. Mare Nostrum на латински означава 'нашето море' и е римското име на Средиземно море. Компютърът е изграден от IBM и министерството на образованието на Испания и е кълстер, който се състои от общо 2 282 изчислителни възела, всеки от които с два 64-битови процесора IBM PowerPC 970FX, на 2GHz – общо 4 564 процесора. Освен това изчислителната мощ на компютърът е подплатена с около 9TB (терабайта – 1TB – 1024GB) оперативна памет и 140TB дисково пространство. Mare Nostrum работи с операционната система Linux – общата му мощност е около 42 терафлопа. Въпреки всички компютърът заема сравнително малко пространство – около 160 квадратни метра – това е по-малко от половин баскетболно игрище. Тежи около 40 тона. Компютърът е притежание на

Каталунският Технически Университет и има няколко основни предназначения, като изчисления за човешкият геном, изследвания в областта на белтъците, синоптични прогнози и изчисления за създаване на нови лекарства.



Последния суперкомпютър, който ще разгледаме е един амбициозен проект, изграден в Япония, който доказва, че тази страна все още държи перлите в короната на технологията, въпреки превъзходството при суперкомпютрите на САЩ. Earth Simulator бил водещ в класацията на суперкомпютрите, от 2002 до 2004-та, когато бил изместен от първото поколение BlueGene. Неговата мощ достигала невероятните тогава 36 терафлопа, което е оправдано, защото на неговите процесори тежала и все още тежи изключително отговорна задача – симулиране на виртуален модел на Земята, за изследване на земният климат и промените в него. Хардуерът бил изработен от японският гигант NEC, които базирали системата на една от своите разработки – SX-6. Конструкцията на гигантът продължила три години – от 1999-та, до 2002-ра, когато проекта официално бил стартиран. Системата представлява кълстер с 640 възела, с по 16GB оперативна памет, и 8 специални векторни процесора. Общият брой на процесорите в цялата система е 5120, а количеството оперативна памет – завидни 10 терабайта. Забележителните цифри не свършват до тук – освен оперативната памет компютърът съдържа и 700 терабайта дисково пространство, а ако това не ви е достатъчно има и допълнителни 1.6 петабайта масова памет, изградена с лентови устройства. Днес този компютър все още е актуален с 7-то място в класацията TOP500, но вече се смята, за леко поостарял, в сравнение с BlueGene. Е въпреки това поне мен успяха да ме впечатлят. Какво ще кажете вие?



## Суперкомпютъра на шахматната дъска

Несъмнено най-известният суперкомпютър в историята е IBM Deep Blue. И този компютър стана известен точно покрай един величествен шахматен двубой. Да, става дума за компютъра, който



победи Гари Каспаров на шах през 97-ма година. Името Deep Blue идва от страхотната книга на Дъглас Адамс "Пътеводител на галактическият стопаджия", където има компютър, наречен Дълбока мисъл (Deep Thought), чиято цел е да открие отговора на 'въпроса за съществуването, човешкият живот и всички останало'. Компютъра Deep Blue бил наистина мощен за времето си. Състоял се от 30 възлова система RS/6000 SP, разширена с 480 специални шах процесора.

За една секунда изчислява над 100 000 000 хода на шахматната дъска. И въпреки всичко говорим за средата на 90-те, представете си до къде е достигнала тази технология днес и срещу какво ще се изправи Веселин Топалов септември тази година. Шах-компютъра Хидра все пак е наследник точно на IBM Deep Blue. Но за разлика от Deep Blue, Хидра крие и нови тайни в устройството си – една от тях е FPGA технологията. Всеки изчислителен възел от Хидра съдържа и по един FPGA чип. FPGA (Field-Programmable Gate Array) чиповете представляват електронни чипове, които съдържат матрици от множество логически елементи, връзките между които могат да се програмират – най-лесният начин по който това може да се разбере е като си представим, че FPGA е технология за създаване на електронни схеми чрез програма – просто се вкарва код в тази матрица, и благодарение на тази програма се определя това в каква точно схема ще се превърне тя. Един такъв чип, може да се програмира да изпълнява всевъзможни задачи и ще ги изпълнява много по-бързо от който да е процесор. Но освен всичко Хидра е най-вече клъстер – той се състои от 16 изчислителни възела, свързани с оптична Myrinet връзка, всеки от които има по два процесора Intel Xeon на 3.06 Ghz. Всеки от възлите е подплатен с по 16GB оперативна памет, а цялостната производителност на системата е такава, че в момента той се води като един от най-мощните системи в света специално разработени за игра на шах.

## TOP500. Сблъсък на титаните



Ако говорим за суперкомпютри, просто ще е грешка да не споменем класацията TOP500 (<http://www.top500.org/>). Тя е стартирала през 1993-та и и до днес осигурява периодични списъци на 500-те най-мощни суперкомпютри на Земята. Освен това сдружението развива и друга дейност, организирайки периодични конференции за суперкомпютри, следващата от които ще е в края на юни в Дрезден тази година. Класирането на суперкомпютрите в списъка става чрез специална програма-бенчмарк, наречена LinPack. Това, което се забелязва в класацията е, че IBM има една от водещите позиции при суперкомпютрите. И на трите първи места са техни компютри, като два от тях са, естествено от серията Blue Gene. Най-мощният суперкомпютър в Европа, Mare Nostrum, пък е чак на 8-мо място. Повечето места в началото са окупирани от САЩ, с едно изключение – японският Earth Simulator Project. Интересно е, че България също има място в списъка, но чак на 401-во място (е, поне присъстваме) с правителствен клъстер с 640 процесора AMD Opteron на по 2.6GHz, произведен от HP. Резултатът на нашата машина на Linpack е 1860, което изглежда направо смешно, сравнено с 280 600 точки на BlueGene/L, но както вече споменах е по-добре от нищото.

