

Проф. Стоян Марков:

СИЛИЦИЕВ МОЗЪКЪВ

Суперкомпютърът в София, на който български и чуждестранни учени моделираха части от невронната мрежа на плъх

7000 учени и **3 милиарда** долара в усилия за пресъздаване на човешкия интелект

КОСМОСА

Снимки Йордан Симеонов

АЛЕКСЕНИЯ ДИМИТРОВА

Може ли да се създаде точен тримерен цифров модел на човешкия мозък? Може. Или поне в това вярват 7000 учени от 26 страни.

В близките години те ще похарчат поне 3 млрд. долара, за да постигнат целта си – „копиране“ на мозъка на ниво неврони, аксони, дендрити и синапси (повече за структурата на нервната клетка – виж на стр. 47) и имплантирането му в специално проектирана за него компютърна платформа с производителност, по-голяма от тази на мозъка.

Възможно ли е цифровият модел на мозъка да има производителност, по-голяма и по-ефективна от тази на своя аналог? „Възможно е. Създаденият от хората изкуствен интелект, съчетан с възможностите на суперкомпютрите, вече бие човека на шах“, казва проф. Стоян Марков, който е българската връзка в начинанието.

Освен че работи в областта на суперкомпютрите, Марков е консултирал проекти за американската държавна администрация, училища и университети през годините. В момента е начело на Националния център за приложение на суперкомпютрите.

Той разказва какво трябва да стане, за да бъде създаден успешно „силициев мозък“ – тримерен цифров модел на човешкия мозък.



Стоян Марков е бил вицепремиер на България от 1986 до 1988 г. и шеф на Държавния комитет за изследвания и технологии. Едни го наричат номенклатурчик от времето на Тодор Живков, други го сочат за основател на модерната българска електроника и информатика и за един от бащите на първия български суперкомпютър. От 1979 г. до 1989 г. отговаря за развитието на електрониката, за създаването на нови продукти, както и технологии за тяхното производство. Той решава върху какви проекти ще се работи и носи отговорност за резултата, включително за българския суперкомпютър.

След падането на комунизма Марков печели конкурс в Европейския център за ядрени изследвания ЦЕРН в Женева, който се прочу с т.нар. ядрен колайдер. „В ЦЕРН винаги имат нужда от добре подготвени и можещи хора“, казва Марков в отговор на съмнението, че се е озовал в Женева с помощта на т.нар. „червени“ пари. „Нищо не знам за червени пари, не съм богат, нямам къща или апартамент на Запад, не карам последен модел „Мерцедес“, казва Марков.

Определя като случаен факта, че скоро след това и по едно и също време се озовава във Виена с друг „номенклатурчик“ – Огнян Дойнов, както и с руските милионери Березовски и Лучански. „Зарязахме политиката и всеки се зае с това, което може да прави най-добре – аз с наука, Дойнов – с бизнес“, обяснява Марков.

Реално ли е да се мисли, че някога може да се създаде точен тримерен цифров модел на човешкия мозък, проф. Марков?

– По принцип да. Науката вече е доста напреднала в „копирането“ на един от най-сложните човешки органи.

– Колко сложно е това?

– Много. Мозъкът е тримерен обект. Това е най-свършеното творение на природата, плод на еволюцията на живите същества в последните 400 млн. години. Предполага се, че е изграден от около 56 милиарда нервни клетки. Общият брой на техните синапси, т.е. междините между аксони и дендрити, е над 8400 милиарда (8,4 трилиона). Това обяснява защо е толкова сложна задачата за пресъздаване на мозъка в модел със свръхвисока резолюция.

– Какво въсъщност трябва да се направи?

– За да се построи точният геометричен модел на мозъка, трябва да се определят трите координати x,y,z на всеки неврон. На повърхността му има 5 до 13 хиляди синапса. От всеки синапс трябва да се проследи аксонът, който го свързва с друг неврон. Всеки синапс се описва с три диференциални уравнения.

За да си представите невероятните трудности, които съпътстват създаването на свръхпрецизния тримерен геометричен модел на мозъка, вижте плетеницата от аксони и неврони в мрежа от мозъка на плъх с 31 000 клетки, 41 милиона синапса и 56 вертикално свързани обединения от неврони със специализирани функции.

– Казвате, че всеки синапс се възпроизвежда с 3 диференциални уравнения...

– Да, това е съвсем малка част от

процеса на пресъздаването на мозъка. През 1963 г. сър Джон Екълс, Алън Ходжкин и сър Андрю Хъксли получиха Нобелова награда за физиология и медицина за откритията им, свързани с йонните механизми, участващи в процесите в периферните и централните части на мембраната на нервната клетка. На базата на това откритие те

описаха математически физиологичната реакция на неврона

Моделът е система от шест обикновени диференциални уравнения, три от които – нелинейни.

– Обяснете какво се случва реално в мозъка и какво точно трябва да бъде пресъздадено в неговия силициев еквивалент?

– Електрическият сигнал, пренесен от аксона, активира йонните му каналчета и през тях навлизат калциеви йони. Те се свързват със специфични протеини и отварят едно мехурче (везикула), което съдържа молекули от групата на невромедиаторите. Мехурчетата са разположени на повърхността на мембраната, която обгражда синапса. Молекулите, чрез дифузия, попадат в кухината на синапса и след около една милисекунда достигат мембраната на клетката. Стимулиращите невромедиатори се свързват с рецепторите на натриевите канали на мембраната на клетката. Когато тяхната концентрация надвиши критичното ниво, невронът преминава във възбудено състояние.

Потенциалът на мембраната на пирамидалните клетки се увелича-

ва от – 70 милivolта (потенциал на покой) до – 55 милivolта. Каналите се отварят, натриевите йони навлизат в клетката и потенциалът на мембраната продължава да се повишава. Каналите се отварят още по-широко и интензивността на йонния поток се усилва. За около 2 милисекунди потенциалът на мембраната достига +50 милivolта. В този момент, поради разликата между нейния потенциал и потенциала на околната среда, възниква електрически разряд (spike). Натриевите канали се затварят и се отварят калиевите. Калиевите йони напускат клетката и потенциалът на мембраната за около 2 милисекунди намалява до около – 80 милivolта (хиперполяризация). След 20 милисекунди, чрез натриево-калиевата помпа, клетката се връща в състояние на покой.

След излъчването на пакет от импулси, за да възстанови физиологичното си състояние, клетката остава неактивна около 450 милисекунди. Дендритите на клетката събират невромедиаторите, генерирани в отговор на стимулиращите и блокиращите импулси, които идват от свързаните с нея неврони, и тя реагира на усреднено въздействие на група клетки, а не на случайно възникнало събитие в някоя клетка.

Това са сложните процеси, които трябва да бъдат разчетени и възпроизведени в силициевия мозък.

– Как точно може да се разчете микроструктурата на мозъка?

– За да се разчете и реставрира микроструктурата на мозъка, той се разрязва на 7400 хистологични секции с дебелина 20 микрометра.

Всеки срез се фиксира със стъклена рамка. Срезове се ориентират един спрямо друг с точност не по-малка от



Мозъкът се разрязва на 7400 хистологични секции с дебелина 20 микрометра, които се ориентират един спрямо друг с точност не по-малка от един микро-

един микро-

За да се разчете тримерната структура на тънките срезове от човешкия мозък, се ползват полуавтоматични

четящи устройства.

Анатомичните мрежи върху срезове включват няколко милиона неврони.

Но оптичката 3D реконструкция на аксоните в такива огромни структури е с ниска резолюция и практически неизползваема.



Това полуавтоматично четящо устройство разчита тримерната структура на тънките срезове от човешкия мозък, благодарение на свойството на миелина да създава псевдо стереообраз в поляризирана светлина

За да се получи прецизна карта, срезът оптично се разделя на квадрати

с размери 10 на 10 микрона. Използва се високоселективно двойно иму-

нохистохимично маркиране, нещо като флуоресцентни маркери. Това е скъп, но точен метод за идентификация на клетките. Маркерите се свързват само към един вид клетки и когато срезът се погледне през флуоресцентен микроскоп, тези клетки светят.

Очаква се до 3-4 години да започне производството на автоматични

машини за разчитане на невронните мрежи върху срезове.

– Как ще стане това?

– С помощта на суперкомпютър, който свързва образите на квадратчетата в реда, в който са прочетени в оптичния еквивалент на хистологичния срез. Обемът на информацията в 3D образа на среза е около три терабайта.

В момента се ползва една много сложна програма за идентификация на обекти и трасиране на тримерни пътища. Тя идентифицира невроните и ги привързва към техните три координата. От квадратче в квадратче се проследява аксонът, който излиза от всяка клетка, за да се открие с кои клетки е свързана чрез техните дендрити.

Програмата понякога се обърква в плетеницата от аксони

Тя спира да работи и моли оператора да продължи ръчно проследяването. Той преценява кога отново да превключи процеса в автоматичен режим. Прекъсванията съществено забавят процеса на създаване на тримерния геометричен модел на среза, затова се търсят нови алгоритми.

– Какво е постигнато досега?

– От няколко години се работи ус-

поредно по два проекта – Blue Brain and Human Brain. Резултатът от изпълнението на двата проекта от 2005 до 2013 година е, че бе създаден прецизен модел-копие на зрителния център на плъха. Той включва 1,86 милиарда неврона и 11,1 трилиона синапса и бе моделиран на суперкомпютъра Blue Gene/Q, наречен още JUQUEEN, който има 24 576 процесора (393 216 ядра) и оперативна памет 3,93 терабайта. Моделът бе решен с програмите от библиотеката Neural Simulation Tools (NEST). При едно и също външно въздействие бяха сравнени текущите резултати от моделирането с процесите, които протичаха в зрителния център на мозъка на плъха. Практически те съвпадаха и така моделът бе верифициран.

Смуцаващото бе, че 1 секунда от активността на зрителния център на плъха се симулира за цели 40 минути

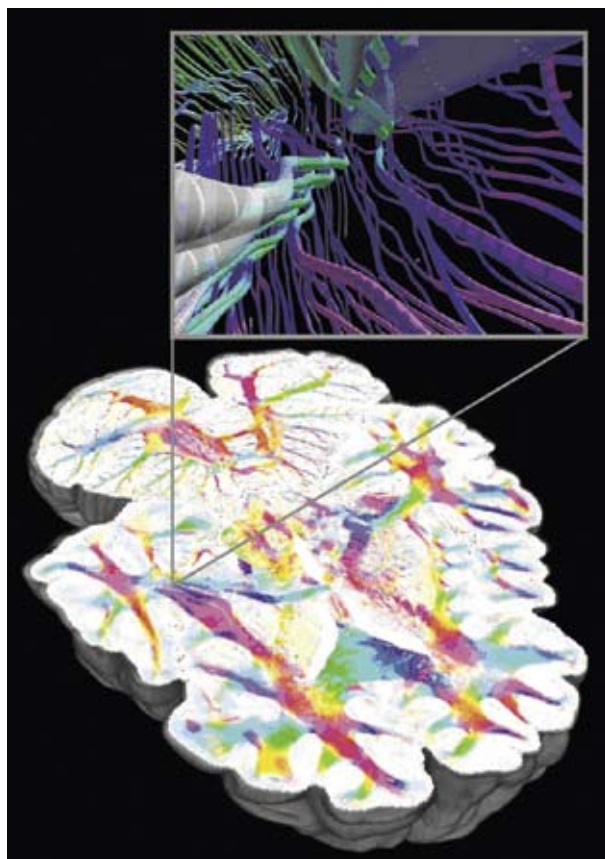
от най-мощния по онова време суперкомпютър в Европа. Това предизвика сериозни размисли.

Огромната разлика между производителността на мозъка на плъха и на суперкомпютрите показва, че класическата архитектура на гениалния унгарски математик и Нобелов лауреат Джон фон Нойман е изчерпила своите възможности.

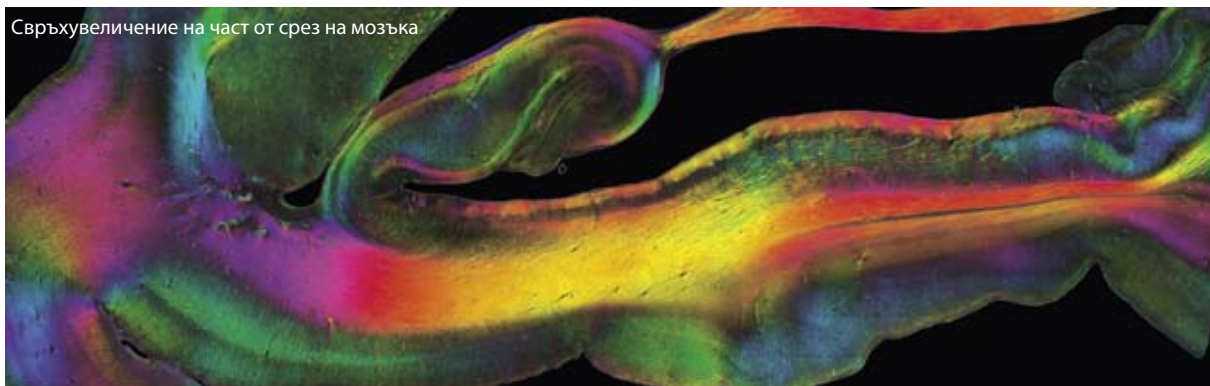
– Каква е причината за ниската производителност на суперкомпютъра спрямо мозъка?

– Една от причините е, че всеки 10 микросекунди трябва да се обменят данни между паметта на компютъра, в която е записано текущото състояние на синапсите, и изчислителните ядра на процесорите, които решават системата уравнения, описваща всеки неврон. Обемът на потока от данни е над 3 терабайта. Никоя от известните комуникационни мрежи не може да издържи на такова натоварване и се задръства. Втората причина е, че на всеки такт трябва да се решат 12-те милиарда диференциални уравнения, с които се описва зрителният център на плъха. Очевидно е, че такъв обем изчисления отнема много време.

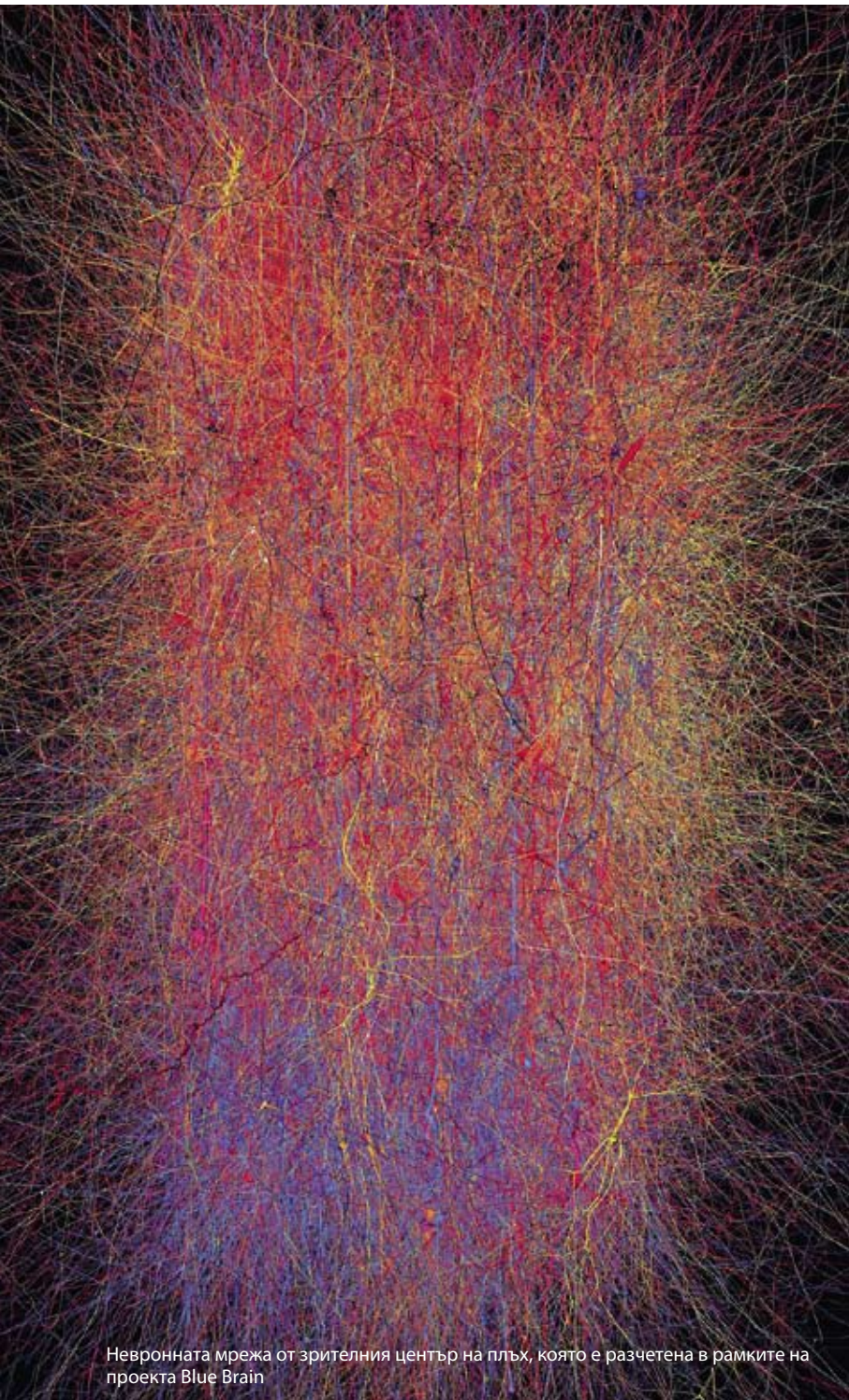
За да се получи точна карта, всеки срез оптично се разделя на квадрати с размери 10 на 10 микрона. CCD матриците, които са основен елемент от цифровите камери и преобразуват образите, попаднали в обектива, в цифрови снимки, възпроизвеждат образите в квадрата с точност под 1 микрон



Свърхувеличение на част от срез на мозъка



Суперкомпютърът JUQUEEN в изследователския център в Юлих, Германия



Невронната мрежа от зрителния център на плъх, която е разчетена в рамките на проекта Blue Brain

– Как може да се промени това?

– Върнахме се и внимателно разгледахме анатомичната структура на зрителния център на плъха.

Ретината е съставена от фоторецептори и четири вида клетки: биполярни, ганглийни, хоризонтални и амакринни. Ганглийните клетки са типични неврони. Намират се на изхода на ретината и техните аксони формират зрителния нерв. Те виртуално са разделени на групи и всяка група е свързана с една базова микроструктура на зрителния център, каквито са колоните на кората на главния мозък, в която се различават около 55 вида нервни клетки. По този начин образът, проектиран на ретината, се разделя на части, които се разпределят между колоните и се обработват едновременно.

Около 92 % от зрителната информация се обработва в колонии. Около 8% е обменът на сигнали между всяка колона и нейните най-близки съседи. Оттук следва изводът, че

„Невронният компютър“

трябва да бъде слабосвързана система, изградена от вътрешно силно свързани модули, които едновременно обработват разпределената между тях информация.

– Възможно ли е да се създаде такъв „невронен компютър“?

– Идеята бе реализирана от IBM през 2014 г. Фирмата произведе специализиран чип, като направи опит да възпроизведе в силиций „сивото вещество“ (невроните) и късите комуникации помежду им, които са имплантирани в ядрата на чипа. Всяко ядро на чипа може да моделира 256 неврона и 64 000 синапса. Паметта му е с обем 104 448 байта. За

запис на състоянието на синапсите са заделени 65 536 байта, за състоянието на невроните и техните параметри – 31 232 байта, за адреси на невроните – 6656 байта, и за запис на времената на закъсненията на сигналите по аксоните – 1024 байта. Общо чипът може да интегрира 1 048 576 неврона и над 2,62 милиарда синапса.

– Какви са другите показатели на този супер невронен компютър?

– С 28-нанометрова технология в чипа са опаковани 5,4 милиарда транзистори в 4096 ядра. Чипът консумира само 100 миливата и изпълнява 400 милиарда операции в секунда на ват. Консумацията на стандартните процесори е около 700 вата при същата производителност.

– Говорите за 2014 г., а сега сме 2017-а. Има ли развитие оттогава?

– Тази година се предполага, че експериментално ще се произведе чип по 7-нанометрова технология и в него ще могат да се опаковат около 86 милиарда тримерни FINFet транзистори.

– Какво е FINFet транзистор?

– Това е еднополярен транзистор, с два „врати“. От двете страни на всяка „врата“ има затвори, които прекъсват движението на „блуждаещите“ електрони, които са породени от квантовия тунелен ефект. Този чип може би ще интегрира 8 милиона неврони и 10 милиарда синапси. Ако това се случи, ще се отвори пътят към създаването на неврокомпютрите. В Европа и Япония също се разработват неврочипове с много висока плътност.

– Кога очаквате да бъде завършен цифровият модел на мозъка?

– Трудно ми е да прогнозирам дали това ще стане в следващите 6 или

следващите 15 години.

– От какво зависи това?

– От много неща. Например кога ще бъдат конструирани и въведени в серийно производство машините за автоматично четене на анатомичните срезове на мозъка с прецизност един микрометър. Зависи и от това кога ще се разработи програмата за автоматично проследяване на всеки аксон – покрай кои неврони преминава и дендритите на кои от тях са свързани с него. Важно е също кога ще бъде завършен тримерният атлас на мозъка на ниво микроцентрове и комуникации между тях.

– Оптимист ли сте за постигането на това?

– Очаква се до 1-2 години да бъдат построени 3D модели с висока резолюция на зрителния и слуховия център.

Инвестират се много усилия и средства, за да може точно да се разбере как функционират центровете, в които се обединяват образът, възприеман през очите, и звукът, който чуват ушите. И как върху този „обединен образ“ се поставя смисловото понятие. С други думи, когато видите чаша, да кажете „чаша“. И когато чуете „взemi чашата“, очите да потърсят и намерят чашата между другите предмети и да придвижат ръката до нея.

– Тази функция вероятно се променя от външни въздействия?

– Да, така е – неврофизиологични и психологични експерименти показват, че централната нервна система променя функционалната си организация в отговор на значими вътрешни или външни фактори. Големият въпрос е къде дълготрайно се съхранява наученото, в кои центрове на мозъка се запомнят образи, сцени, признаците за идентификация и

класификация на обекти, словесният запас, професионалните умения като форма на условния рефлекс и много други неща, как се изгражда асоциативната памет и какъв е процесът на запис в постоянната памет.

– Има ли вече науката отговор на тези въпроси?

– Един нещастен случай ни даде много знания за това къде се намира и как е устроена паметта. През 1953 г. Хенри Густав Молесон претърпява

първата по рода си операция в света, при която изцяло е премахнат хипокампусът

След операцията той не помни нищо и загубва пространствената си ориентация. Амнезията му е пълна и 27-годишният човек дори не разпознава близките си. Иначе Хенри остава нормален човек. Той запазва високото си IQ (118), говори добре, може да рисува. Почина на 02.12.2008 г. на почти 82-годишна възраст. В момента десетки екипи активно изучават микроцентровете на хипокампуса и заобикалящите го мозъчни структури, които регулират поведението, емоциите и паметта.

– Каква част от възможностите на човешкия мозък ще се възпроизведат от неговия тримерен цифров модел?

– Никой не може да предвиди това. На езика на информатиката пирамидите в колоните на неокортекса и самите колонии са хардуер с вграден в него базов софтуер, чрез който се реализират функции на всяка микроструктура на мозъчен център. Базовият софтуер

е реализиран от мрежата от аксони, синапси и неврони. Благодарение на пластичността си мрежата динамично се променя, т.е. базовият софтуер е силно адаптивен. Преди да се създаде моделът и да се вгради в неврокомпютрите, няма да се разбере кои функции са генетично заложи в мозъка.

– Тоест колкото по-бързо се изгради моделът, толкова по-близо сме до целта?

– От една страна – да. От друга – трябва да се има предвид, че мозъкът е и „химическа машина“, поведението и реакциите на която се определят и от въздействието на сигналните, потискащите, активиращите и регулиращите биомолекули и предизвиканите от тях каскади от биохимични процеси. Последните никога няма да могат да се пресъздадат в силициевите модели.

Това може би и не е необходимо. Тези молекули са жизнено важни за функциониране на мозъка, но те не са необходими на цифровия модел за неговата нормална работа. Той се вгражда в силициева среда.

Ако се окаже, че висшите функции на кората на главния мозък могат да се реализират само с помощта на биохимични и физиологични процеси на петте функционални нива – неврони, невронни мрежи, микроцентрове, центрове и мозъка като цяло, моделът няма да възпроизведе мозъка функционално.

Това е голямото неизвестно, от което зависи крайният успех на Human Brain Project. Но биохимичните процеси, които възникват при

**страх, ярост,
стрес, няма
да могат да се
възпроизведат**

– Какъв би могъл да бъде българският принос в тези амбици-

озни по замисъл и суперсложни за изпълнение проекти?

– Добър въпрос. Дано не прозвучи нескромно, но нашият принос може да бъде главно в областта на разработването на суперкомпютрите – област, над която работим от години.

– Разкажете малко повече за това.

– През 1982 г. зам.-председателят на Академията на науките на СССР акад. Евгений Павлович Велихов ме запозна с директора на Института за космически изследвания на Академията акад. Ролд Зиннурович Сагдеев. Той предложи да създадем съвместен колектив за проектиране на

**изчислителен
комплекс с
производителност над
100 милиона
операции
в секунда**

През 1984 г. в България бе произведен първият комплекс с централна машина Изот 1014 и 10 матрични процесора ЕС 2706 с производителност 120 млн. операции в секунда. Главен конструктор на машината бе доц. Владимир Лазаров. Главен конструктор на матричните процесори бе доц. Пламен Даскалов. Аз бях главен конструктор на комплекса. Това бе първата и единствена високопроизводителна система, която се произвеждаше в СИБ.

От 1986 г. в СССР бяха доставени няколко такива системи. Най-мощната – с десет матрични процесора, бе инсталирана в Института за космически изследвания в Москва. На нея бяха пресметнати няколко

десетки траектории за влизане на космическите апарати „Вега-1“ и „Вега-2“ в опашката на Халеевата комета.

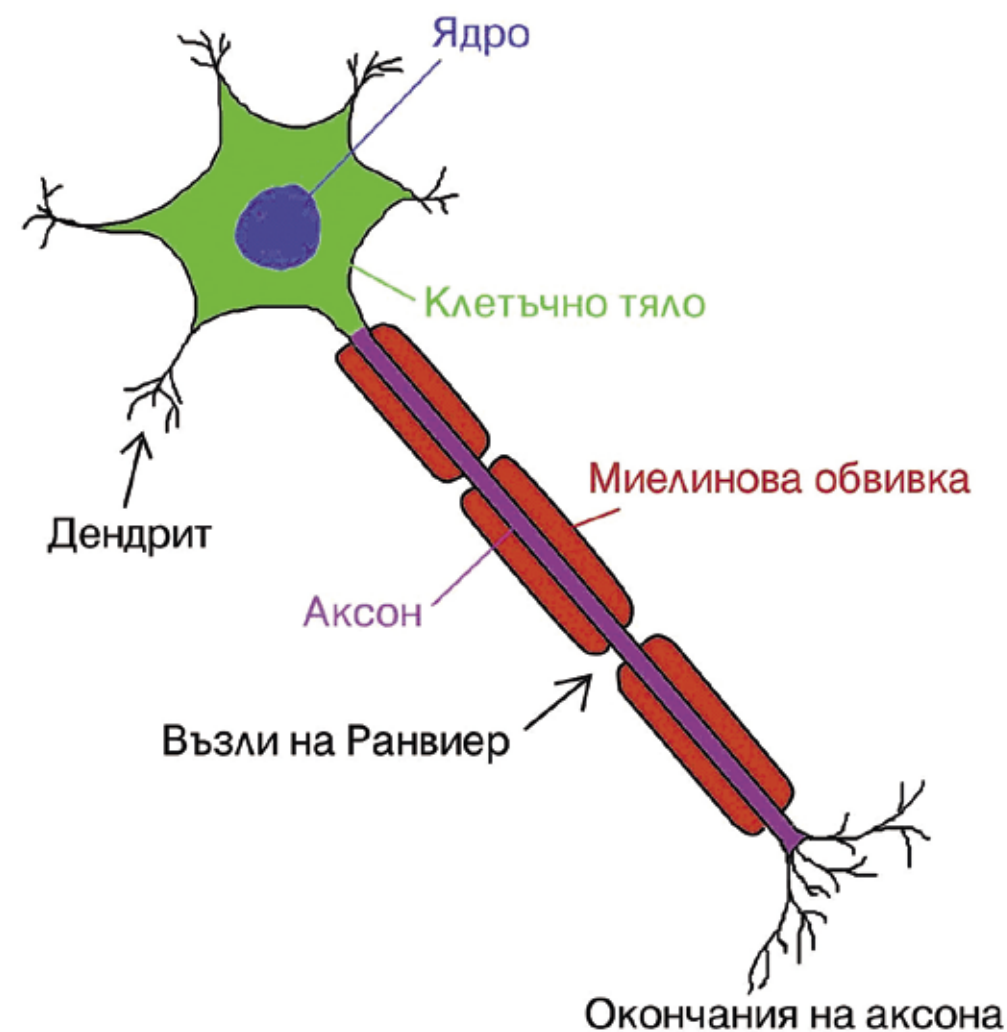
Траекториите трябваше да се подберат така, че концентрацията на прах и частици да бъде минимална, за да не се надраскат обективите на телевизионните камери, защото европейският спътник Giotto, използван по същото време, „ослепя“ и не можа да заснеме вътрешността на кометата.

На 12 октомври 1987 г. американското списание Aviation Week and Space Technology публикува следното съобщение: „Голям съветски компютър, свързан към IBM – съвместима централна машина, влезе в действие в Института за космически изследвания на Академия на науките на СССР. Системата, която влезе в действие преди 6 седмици, има максимална производителност 120 млн. операции с плаваща запетая в секунда. Това ще даде на института възможност да решава сложни теоретични и приложни проблеми, както и възможности за моделиране. Системата вече бе използвана за решаване на такива сложни проблеми като изследване на турбулентни вихрови потоци. Компютърът бе демонстриран на журналист от списанието по време на посещението му в Института за космически изследвания през последната седмица. Хардуерът е доставен от българския ИЗОТ, а софтуерът е разработен от Института за космически изследвания.“

– Принават приноса на България, и това се случва по време на Студената война? Не мога да повярвам.

– Както виждате – да. По непотвърдена официално информация,

Анатомия на нервната клетка



За да се мисли за пресъздаването на мозъка, трябва да се познава анатомията на нервната клетка – неврона, чиято големина е от 5 до 120-150 микрона.

От всеки неврон излизат аксони. Това са проводници на електрическите импулси, които генерира всяка нервна клетка във възбудено състояние.

Техни краища се свързват с дендрити на други клетки и пренесените сигнали предопределят дали клетката ще премине във възбудено състояние, ще бъде блокирана или ще остане неутрална.

Дендритите сумират сигналите, които идват от няколкото хиляди клетки, свързани с дадената клетка.

Аксоните са покрити с миелинова обвивка, която ги изолира един от друг. Когато тя е разрушена, между аксоните, които се пресичат, става своеобразно „късо съединение“. Това е причината за множествената склероза и някои други болести.

Периодично миелиновата обвивка на аксоните се прекъсва от възлите на Ранвиер, с което се осигурява висока скорост на пренасяне на електрическите импулси по аксоните – до 150 метра в секунда.

комплексът е пресмятал в реално време траекторията на космическия кораб „Буран“ при навлизането му в стратосферата и преминаването му от хиперзвукова към свръхзвукова скорост. За да намали скоростта си, корабът няколко пъти е влизал и излизал от стратосферата. Всеки път е трябвало да се преизчислява траекторията за кацане на летището в Байкунур и да се направи корекция на ъгъла на атака и положението му в пространството преди поредното му влизане в стратосферата.

– Каква беше следващата българска стъпка?

– През април 2008 г. у нас бе доставен суперкомпютърът Blue Gene/P на цена около 23 % по-ниска от пазарната на този клас машини. Той се състоеше от два шкафа и ускорител. Едно от условията бе суперкомпютърът да бъде използван и от IBM Research Laboratory в Цюрих.

– Да не би да си сътрудничим с IBM?

– Да, рамките на сътрудничеството между IBM и България в областта на суперкомпютърните приложения бяха определени от директора на лабораторията д-р Матиас Кайзерсверт и тогавашния министър на финансите доц. Пламен Орешарски. През 2014 г. фирмите Intel, Hewlett-Packard и Националният център за суперкомпютърни приложения проектираха съвместно прототипа на хетерогенните Tera and Peta FLOPS суперкомпютри, които ще се произвеждат в Европейския съюз. Бе създадена оригинална архитектура на слабо свързана система със силно свързани изчислителни възли. Бяха използвани многоядрените процесори и копроцесорите Xeon Phi на фирмата Intel.

Супер-компютърът бе произведен

от Hewlett-Packard България и бе инсталиран в края на 2015 г. в залата, в която през 70-те години на миналия век са били монтирани първите изчислителни машини на Българската академията на науките.

– Какви са параметрите на този суперкомпютър?

– Максималната производителност на системата Avitohol е 400 teraflops и струва 4 милиона лева. По-късно бяха произведени чешкият суперкомпютър Salomon с производителност 2 petaflops и италианският Marconi с производителност 13 petaflops. Те имат същата конструкция и архитектура като Avitohol.

– Нека да се върнем към създаването на тримерен цифров модел на мозъка. Какви ще бъдат практическите ползи от това?

– Не знам. Имам няколко предположения. Допускам, че в несъвсем далечно бъдеще космически корабироботи с вградени в тях модели на мозъка ще се изпращат за изследване на дълбокия Космос и близки планети. Хората не могат да издържат полети с продължителност стотици години. За да бъдат изпратени на подобни мисии, космическите кораби трябва да са заредени с големи количества въздух и вода, да разполагат с големи площи, засадени с растения, които ще използват за храна и рециклиране на въздуха, да имат инсталации за пълно рециклиране на всички отпадъци, болница, ремонтни бази и много други обезпечавачи и защитни структури – нещо, което не е реално. Като допълнение хората живеят кратко и трябва да раждат деца. При малък брой кос-

монавти има опасност поколението генетично да се изроди. Няма да има и достатъчно хора с различни специалности, които да учат децата. Такива кораби биха били огромни по размери, много тежки и скъпи съоръжения. За да достигнат скорост от няколко километра в секунда и да се поддържа оборудването на борда, ще трябват двигатели с мощност десетки милиони конски сили. Накратко –

строителството на такива кораби е технически и финансов абсурд

Затова по-реално е в Космоса да се изпращат електронните очи и уши на хора и центрове за интеграция, класификация и интерпретиране на информацията, на центрове на асоциативната памет и тези за вземане на решения. Силициевият мозък ще бъде подпомогнат от мощни химически и физически лаборатории и суперкомпютри с вградени възможности за анализ и извличане от огромни обеми неструктурирани данни на неизвестни закономерности и явления.

Допускам, че същият подход ще се използва за изучаване дълбините на океана и неговото дъно.

Предполагам, че

роботи с имплантирани интелектуални способности

ще сменят човека и в оръжията. Войникът е най-слабото звено в боя. Той се страхува и иска да си запази жи-

вота. Така че в следващата генерация въоръжения и бойна техника вероятно ще бъдат вградени роботи, а човек ще ги ръководи от дистанция, извън полето на бойните действия.

Първите „лястовици“ вече са на въоръжение – безпилотни самолети, автоматични разузнавателни средства, автономни бойни машини. Така че може би скоро на театъра на бойните действия ще се сражават машини с „високи интелектуални способности“. Това ще е

петата генерална смяна на оръжията

от кремъчните чукове и стрели с каменни върхове до днес, но може би ще спаси човечеството от следваща глобална световна война, както го спасиха атомните оръжия досега.

Но най-съществено влияние върху всички хора ще окаже комбинацията от глобалните цифрови мрежи, автоматичните производствени линии и всеобхватните системи за контрол и управление с вградена интелигентност, които драстично ще променят производството, търговията, транспорта, услугите и всекидневието на хората.

Това ще бъде четвъртата индустриална революция

Много професии ще изчезнат и големи групи от хора няма да си намерят работа. Нискообразованите хора ще станат излишни. Затова държавите трябва да намерят механизъм да ги ангажират и да им плащат макар и минимален доход. Иначе ще настъпи социална революция.

Два топпроекта обединяват развитите страни за идеята

Проект „Човешкият мозък“

Стартът е през 2000 година с проекта Blue Brain

116 университета, изследователски лаборатории и национални институти от 19 европейски страни и още 52 от други страни работят от 2011 г. по проект „Човешкият мозък“ – Human Brain Project.

7000 учени и изследователи от 23 специалности от Австрия, Белгия, Великобритания, Германия, Гърция, Дания, Израел, Италия, Испания, Канада, Китай, Кипър, Норвегия, Португалия, Словения, САЩ, Турция, Унгария, Финландия, Франция, Швеция, Швейцария, Холандия и Япония ще похарчат поне 3 млрд. долара, за да се справят с на пръв поглед непосилната задача.

1,2 милиарда евро са осигурени от Европейската комисия, около 1 милиард долара – от САЩ, около 300 млн. долара – от Япония, около 230 млн. – от Канада. Не е известно колко е вложил Китай в националните си институти, които са ангажирани в проекта.

Партньорство за суперкомпютърната инфраструктура на Европа

850 млн. евро за 10 години

Консорциум „Партньорство за изграждане на суперкомпютърната инфраструктура на Европа (Partnership for Advanced Computing in Europe – PRACE) е сдружение на 25 държави: Австрия, Белгия, България, Великобритания, Германия, Гърция, Дания, Израел, Италия, Ирландия, Испания, Кипър, Норвегия, Полша, Португалия, Словения, Словакия, Турция, Унгария, Финландия, Франция, Холандия, Чехия, Швеция и Швейцария.

В проектите, които са стартирани от ЕК и Консорциума през 2008, участват 47 университета и изследователски центрове.

Бюджетът за изследвания и инвестиции за периода 2008-2018 г. е около 850 милиона евро.