

ТЕХНОСФЕРА

ISSN 1313-3861

Брой 3 (21)/2013

СЪДЪРЖАНИЕ

Информационно- комуникационни технологии

Акаг. Васил Сгурев
Към читателите 3

Давид Дубровский
Субективната реалност и мозъкът:
опит за теоретично решаване на
проблема 5

Иван Миланов
Мозъкът компютър ли е или
компютърът е прототип на мозък? 19

Георги Менгов
Социалната фракталност 25

История на науката и техниката

Давиде Кастелвеки
Въпроси за следващите един милион
години 39

Ферис Джабр, Катрин Хармън,
Давид Биело, Емили Лабер-Уорън,
Дези Юхас, Агам Пиор,
Мариса Фесенген,
Кристофър Мимз, Джон Кери

Идеите, променящи света 48

Физика

Алексей Коршенинников
Фундаменталната наука
като начин на живот 65

Велики български учени и изобретатели

Инж. Лукан Хашнов – бележит
строител, учен и първи
строителен инженер член на БКД 70

Научно-техническо наследие

За кадастъра на България 75

Техносфера е научно-информационно списание
на Академично издателство „Проф. Марин Дринов“,
БАН – Отделение за инженерни науки (ОИН)
и Федерацията на научно-техническите съюзи в България (ФНТС)

В *Техносфера* се публикуват материали и от
сп. *В мире науки* и *Вестник РАН*.

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ:

акад. Васил Сгурев (отговорен редактор),
акад. Кирил Боянов,
акад. Иван Попчев,
акад. Ячко Иванов,
акад. Стефан Воденичаров,
акад. Чавдар Руменин,
чл-кор. Минчо Хаджийски,
акад. Александър Александров
проф. Сашо Гергов

Редактор: Мария Герчева

Дизайн: Кристиан Слав

Адрес на редакцията:

Академично издателство „Проф. Марин Дринов“
1113 София, ул. „Акад. Георги Бончев“, бл. 6

ISSN 1313-3861



АКАДЕМИЧНО ИЗДАТЕЛСТВО „ПРОФ. МАРИН ДРИНОВ“
1113 София, ул. „Акад. Георги Бончев“, бл. 6

Социалната ФРАКТАЛНОСТ

Георги Менгов*

Теорема за несъществуването на безплатен обяд

През 1997 г. американското дружество на електро- и електронните инженери IEEE започна издаването на научно списание по еволюционни пресмятания и още първият му брой съдържа една много любопитна статия. Нейните автори Уулпърт и Макрийди от изследователския център на ИВМ в Алмейдън ѝ бяха дали донякъде предизвикателното заглавие: „Теорема за несъществуването на безплатен обяд в оптимизацията“. Зад закачката с известната фраза на икономиста Милтън Фридман, че в живота няма безплатен обяд, се криеше важна, но неочевидна идея, която тук ще преразкажем в малко опростена и популярна форма. По същество теоремите показваха, че ако един алгоритъм решава по-добре от друг алгоритъм оптимизационните задачи от даден клас, то той е обречен да се справи като цяло, т.е. средно взето, по-зле от конкурента си върху множеството на всички останали оптимизационни задачи. Освен това бе доказано, че всеки два произволно взети алгоритъма (независимо дали детерминистични или стохастични) биха постигнали еднакъв средностатистически резултат, когато бъдат използвани за решаването на множеството от всички възможни оптимизационни задачи –

линейни, нелинейни, статични, динамични и т.н. Казано още по-популярно, ако някъде получиш предимство, ще си платиш за него при други обстоятелства и в този смисъл няма да има безплатен обяд.

Нека да погледнем на тези резултати по-общо и да се опитаме да ги осмислим от гледна точка на здравия разум. Известно е, че един алгоритъм се справя по-добре от друг, ако по някаква причина отчита в по-голяма степен информация за природата на обекта, върху който се прилага. Това е вярно за задачи и извън областта на оптимизацията. Например, моделирането на технически, природни и социални системи постига толкова по-големи успехи, колкото по-пълноценно улавя закономерностите в тях. Обикновено то протича на етапи, при които в началото са налични знания, придобити от предходни изследвания и емпирични данни от близка област, а впоследствие към тях се добавят сведения от нови експерименти или нови теоретични виждания. Така постепенно представите на учените се обогатяват и се преминава от феноменологични модели, носещи белезите на предишен опит, към модели, отнасящи се все повече за дадения обект. Тази конкретизация, съчетана с ефективността на подходящо избран математически апарат, обикновено води до впечатляващи резултати. Може да възникне изкушението някой от новосъздадените методи да бъде приложен върху обект със сходна природа, за който

* Георги Менгов – доц. – Факултет по икономика и бизнес администрация – СУ „Св. Климент Охридски“.

знаем недостатъчно. При този трансфер успехът на новия метод може да е по-малък, отколкото е в областта на произхода му, но може да се окаже, че надхвърля досегашните постижения в новата област, особено ако последната е в началото на развитието си. Продължавайки по този път обаче, нашият нов метод, модел или алгоритъм ще се отдалечава все повече от „родните си земи“ и ще навлиза в територии, където обектите имат различна природа и тя се улавя по-добре от други теоретични постижения. Ето защо е добре изследователят да си дава сметка за вградените в неговия инструмент изходни допускания и за ограниченията, които прозират от тях.

От време на време се появяват научни методи, които дават наистина големи обещания. Ще разгледаме един такъв пример.

В средата на осемдесетте години на миналия век на сцената излязоха невронните мрежи в техните няколко разновидности. Особено големи надежди се свързваха с многослойния перцептрон и алгоритъма за обучението му посредством използване на сигнала на грешката като обратна връзка. Тази методология имаше в основата си познание за функционирането на човешкия мозък, но то бе толкова опростено и отдалечено от първоизточника си, че на практика нямаше много общо с него. Перцептронът бе абстрактен и това го правеше да изглежда достатъчно универсален, т.е. приложим за почти всякакви задачи, за които е налична емпирична информация относно входно-изходни взаимодействия. След няколко години се изясни, че това е просто един метод, еквивалентен на нелинейния регресионен анализ с голям брой параметри, характеризиращи се със статистическа незначимост, но и с един вид устойчивост на поведението им като група. Приложението му в широк спектър от научни и научноприложни задачи показва как той е полезен в области, които поради своята сложност все още не са развили стройна или поне задоволителна теория – например за прогнозиране на надеждността на кредито-

получателите на банките или клиентите на застрахователните и лизинговите компании. Натрупаният опит с приложения в техническите и природните науки спечели на многослойния перцептрон славата на вечния сребърен медалист в прогнозирането – винаги се намираще метод, който не е универсален, но е по-добър от него в конкретния случай. Отново се потвърди максимата, че „няма безплатен обяд“. Тук е мястото да припомним, че става дума за един обичаен, макар и модерен статистически метод, за който е валидно всичко известно за самата приложна статистика – използва се там, където все още няма солидно теоретично знание.

Интересно беше, че перцептронът се оказва жилив и легна в основите на различни технологии за разпознаване на образи и сигнали. Някои от тях дори стигнаха до софтуерни продукти с умерен пазарен успех.

В началото на новото хилядолетие пишещият тези редове участва в проект, в който една от дейностите изискваше човешки говор да бъде преобразуван в писмен текст. Едно комерсиално софтуерното приложение, очевидно съдържащо многослоен перцептрон с алгоритъм за обратно разпространение на грешката, бе старателно обучено да разбира добре говора на автора, след което се премина към реалното му използване. Резултатът бе колкото вълнуващ, толкова и изнервящ: при диктовка понякога компютърът разпознаваше и изписваше на екрана *безпогрешно* цели изречения от по десетина и повече думи. Най-често той правеше по две-три грешки на изречение и се налагаше човекът постоянно да редактира текста посредством клавиатурата. От време на време изкуственият интелект се объркваше до степен да изпада в безпомощно състояние. Най-лошото обаче бе друго: след продължителен опит с много добри и не толкова добри резултати човекът все повече очакваше (инстинктивно и емоционално), че софтуерното приложение ще се самоусъвършенства, ще стабилизира успешното разпознаване (особено след като имаше някои блестящи попадения) и постепенно ще сведе грешките до минимум.

Уви, това никога не стана – две-три секунди добра работа биваха последвани от много неточно разпознаване, характерно за пълен глупак, което бе още по-отчайващо на фона на току-що постигнати частични успехи. В конкретния случай изкуственият интелект се изяви като не много разумно същество с дълбоки психични увреждания, поради което общуването с него изискваше значително търпение и морални сили. В крайна сметка се оказа, че отново перцептронът се кла-

сира на второ място – този път след човека, който се принуди да изझे функции му и да продължи работата сам. Десет години по-късно софтуерният интернет-преводач на Гугъл, експериментално използван за превод от български на английски език, създаде у човека приблизително същите впечатления: наченки на разум, на моменти впечатляващи постижения, но в крайна сметка – ниско равнище на интелигентност и недостатъчни способности за развитие чрез самообучение.

Аналогии и фракталност

Истории като тези две не могат да обезкуражат сериозните изследователи – постиженията на природата винаги ще бъдат източник на вдъхновение за научната мисъл и обект на имитация при създаването на нови технологии. Независимо от трудностите, ние оставаме изкушени да намираме аналогии и да правим трансфер на знания и идеи от една област към друга. Рано или късно идват и успехите. Връщайки се към компютърната наука можем да си спомним, че тя вече успя да победи световния шампион по шахмат.

Раждането на творчески идеи чрез откриване на аналогии с нещо съществуващо в околния свят изглежда свидетелства за когнитивна способност, заложенa в нас на по-дълбоко равнище, отколкото бихме допуснали. Може би това е просто част от нашето устройство. Живата и неживата природа дават безброй примери как структури и механизми се повтарят отново и отново в различни мащаби макар и с известни вариации. Ето две илюстрации. За един период от време в началото на двадесети век физиките са постулирали сходство между строенето на атома – с електрони в слоеве около ядрото си, и Слънчевата система с планети, обикалящи в орбити около Слънцето. Впоследствие тези виждания са изоставени като недостатъчно точни, но не преди да дадат сериозен тласък на ядрената физика. През осемдесетте години на двадесети век кос-

мическите апарати Вояджър-1 и Вояджър-2 достигнаха най-отдалечените планети и изпратиха оттам снимки и измервания, които дадоха нов материал за заключения от същия вид. Оказа се, че планетата Юпитер и спътниковата ѝ система доста приличат на цялата Слънчевата система. Най-напред спътниците и в двата случая са се формирали от облаци междупланетен газ, привлечен от гравитационното поле на центъра – Слънцето или Юпитер. И при двете системи има ясно разграничение между видовете спътници: в по-голяма близост кръжат по-малки по размери, но с голяма геологична или атмосферна активност. Около Слънцето това са Венера, Земята и Марс, а около Юпитер това са спътниците му Йо и Европа. В по-отдалечени орбити около Юпитер обикалят големи студени гиганти като Ганимед и Калисто, подобни на големите планети Юпитер, Сатурн и Уран, също намиращи се на голямо разстояние от гравитационния център и много по-студени от него.

В края на миналото хилядолетие физиките вече бяха открили голям брой такива явления в различни мащаби и среди и ги смятаха за нещо обичайно. Ситуацията бе обобщена от известния популяризатор на науката Роджър Пенроуз с думите: „Природата измисля механизъм за едно явление и после търси да го приложи другаде. Науката, която има за обект именно такива феномени, е теорията на детерминистичния хаос и ней-

ната подобласт фракталните обекти – тези, които са самоподобни и съдържат в себе си обекти със същата структура, но в умален мащаб. През последните десетилетия тя изживява истински възход“.

Самата идея за фракталността изглежда е изказана за първи път в достатъчно категорична форма от великия Готфрид Вилхелм Лайбниц, който през 1714 г. е написал:

„... за всяка част от материята можем да мислим, че е градина пълна с растения, или езеро, пълно с риби. Но всяка клонка от едно растение, всеки орган от едно животно и всяка капка от телесните му течности също представляват подобна градина или подобно езеро.“

Лайбниц дори е измислил термин за обозначаване на всеки такъв обект – „монада“, и е озаглавил книгата си „Монадология“. Неговите монади са всъщност фракталните обекти. Върховите технологични постижения по онова време са били телескопът и микроскопът и те очевидно са дали отражение върху мисленето на големите умове на епохата, подканяйки ги да търсят аналогии, пресичащи различни мащаби. Е, не е минало и без някои неприятни изненади. Още древните римляни са оприличавали пчелния кошер и голямата пчела вътре в него на Римската империя с един доблестен император или консул начело. Но микроскопът помогнал да се установи, че голямата пчела е всъщност женска, за голямо учудване на управленските елити в ренесансова Европа и за голям потрес на католическата църква. Но както е известно, всяко подобие от този вид е с ограничен обхват, а, от друга страна, с всяко откритие се свиква.

Фракталните явления дават разнообразна храна за ума, търсещ аналогии. На съвременния психолог Герд Гигеренцер дължим следната история. Адолф Кетѐ, енциклопедичен учен от XIX век, анализирал за първи път в съвременния смисъл на думата демографската статистика за Лондон, Париж

и Брюксел и въвел понятието „среден човек“, като показал как редица негови характеристики се описват адекватно с нормалното разпределение. Това направило голямо впечатление на бъдещите велики физици Максвел и Болцман, които независимо един от друг решили, че могат по същия начин да третираат молекулите в един газ и така се родила статистическата физика. Не са много

случаите, в които изучаване на явления със социална природа дава тласък на някоя природна наука.

Като че ли по-често става обратното – изследователи, въоръжени с методите на физиката, се опитват да се домогнат до закономерностите на общественото развитие. В началото на седемдесетте години на XX

век уравненията на масообменните и топлообменните процеси на Навие-Стокс бяха адаптирани за нуждите на финансовите потоци и борсовата търговия от учени, които впоследствие получиха Нобелови награди за тези свои приноси. И до днес иконометрията използва гравитационните модели в международната търговия, които се основават на следната проста идея. Нека да оприличим, постулират те, търговския стокообмен между две държави на гравитационното взаимодействие между две планети. Колкото по-големи са държавите, толкова повече търговия ще има между тях. Колкото по-близо са една до друга в географски смисъл, толкова по-интензивно ще е икономическото взаимодействие между тях. Ако имат обща граница – още по-добре! Дотук аналогията между търговията и небесната механика е достатъчно добра, за да се направи опит за директно приложение на закона на Нютон за гравитацията. Обаче, казват икономистите, защо да не продължим да търсим фактори, определящи интензивността на търговията? Например, ако народите в двете държави говорят един и същи език, това ще улесни стопанските връзки повече от всичко друго. Ако между тях са изградени добри пътища и железници, това е още един подпомагач

фактор. Също може да е от полза, ако имат сходни политически системи и тясна политическа обвързаност. Колкото по-добре функционират правосъдните им системи, толкова по-интензивни са икономическите отношения между тях. И понеже за всичко това няма място във формулата на Нютон, тя бива изоставена в полза на класическия линейен регресионен анализ, за целта украсен с множество фиктивни променливи и снабден с усъвършенствани процедури за анализ на остатъците и преодоляване на хетероскедастичността и мултиколинearността. Но на идейно равнище аналогията е останала непълната. В по-ново време подходи от статистическата физика бяха приложени с умерен успех в изучаването на колективното поведение на тълпи от футболни запалняковци, участници в митинги и масови прояви, публиката по време на футболни мачове, специфични явления при борсовата търговия и други.

Един мислител от XIX век бе казал, че ние изучаваме законите на общественото развитие, за да ги извадим от ролята на могъщи повелители и да ги превърнем в покорни слуги. Боравейки с аналогии и търсейки фрактални закономерности, можем да правим това и без да прибъгваме до инструментариума на физиката. Оставайки в рамките на обществените явления понякога може да е дори по-интригуващо. Представителите на икономическата наука обичат да си служат със сравнения между функционирането на отделното домакинство, от една страна, и стопанството на цялата държава, от друга страна – и едното и другото не може да харчи повече, отколкото изработва; и двете трябва да спестяват, да планират разходите си, да определят приоритети и т.н. Подобно на икономистите, специалистите по администрация и управление метафорично сравняват фирмата или организацията с отделния жив организъм – и едното и другото преживява периоди на растеж и благоденствие, редувани с периоди на

свиване на дейността, затягане на коланите, намаляване потреблението на ресурси.

Последните два примера изглеждат по-скоро като ефективна реторика, но съществуват и други, в които властва количественият анализ. В далечната 1938 г. американският счетоводител Ралф Елиът анализира движението на цените на акциите на Нюйоркската фондова борса и открил съществуването на повтарящ се характерен рисунък, изписван от индекса Дау-Джоунс. Било установено, че в рамките на минути може да се наблюдава посъпяване, извършващо се стъпаловидно: на пет стъпки, от които три нагоре и две надолу, а спадането е на три стъпки, от които средната е леко покачване. Тази базисна структура се влита и малко или много се повтаря в по-големия мащаб с продължителност месеци и години. Познаването ѝ позволява да се предвижда изменението на цените и да се купуват и продават акции в изгодни за икономическия агент моменти. Това е в опростен вид първоначалната идея на техническия анализ. Поради своята популярност тя естествено отдавна е загубила доходността си, главно заради силно изменената форма на кривата в последния период, където се решава въпросът за доходността на трансакциите.

Друг пример за фракталност е откритието на Беноа Манделбром, че вероятностното разпределение на цените на памука на Нюйоркската памучна борса, наблюдавано в рамките на един ден, остава непроменено в рамките на месеци, години и дори десетилетия.

Забележително е било да се установи, че изменчивостта на процеса е запазила своите статистически характеристики в продължение на шестдесет години (през 1900–1960 г.) и не се е повлияла от събития като две световни войни и Голямата икономическа депресия.

Защо е възможна фракталност в икономическите процеси? Един отговор предлага

Диде Сорнет – физик, автор на книга за финансовите пазари, според когото пазарът е самоорганизираща се система, в която имат място кооперативни явления. Те са породени от обмен на информация между агенти с различна степен на професионализъм и осведоменост. Това води до разпространяване на слухове и вземане на инвестиционни решения по подражание – по-неопитните следват по-големите професионалисти. Взаимоделието спонтанно превръща множеството автономни агенти в нещо като колективен „суперагент“, който периодично се формира и разпада в зависимост от икономическата изгода на отделните играчи.

Именно проектирането на мисленето на индивидна върху колективния разум поражда фракталността.

Като научен сътрудник в БАН пишещият тези редове се запозна с методиката на професор Давид Попиванов за анализ на емпирични данни от електроенцефалографски (ЕЕГ) измервания посредством величини от теорията на хаоса и я приложи върху данни от търговията на Нюйоркската фондова борса. Очерталата се картина бе интересна и поучителна. Най-напред тримерните емпирични атрактори за първите три главни компонента при двата вида процеси си приличаха дотолкова, че дори опитното око не можеше да ги различа. Тези скромни изчислителни анализи потвърдиха известните истини, че когато човек се съсредоточава, активността в определени точки от мозъка му се променя, като броят на формиращите я величини (за сега с неустановена природа) се намалява от обичайните четири-шест до три-четири. Тогавашният научен сътрудник си даде труда да анализира данните за търговията с акции на Нюйоркската фондова борса за четири водещи световни компании от областта на информационните технологии и получи следните резултати. Обичайно върху динамиката на „колективния борсов разум“ влияеха седем-осем фактора (отново с неясна природа), което е малко повече от това, което става в човешкия мозък. В петък вечер и по-неделник сутрин този брой нарастваше до

около петнадесет, но после спадаше – явно борсата влизаше в работен режим. Оказа се, че и отделният мозък, и колективният разум имат сходно поведение, характеризиращо се с нещо като фокусиране, т.е. динамично намаляване на броя влиятелни фактори при извършване на сериозна работа.

Изглежда, че такива изследвания стават все по-модерни. Неотдавна Би Би Си съобщи за научни резултати, според които глобалната мрежа Интернет също показва наченки на разум, каквото и да значи това. Впрочем експертният анализ на аналозиите между разума и/или душата на отделния индивид, от една страна, и на колектива или общността, от друга страна, има дълга история, писана от различни специалисти. Тук срещаме психолози от началото на ХХ век, като автора

на „Психология на тълпите“ Густав Льо Бон, както и психоаналитика Карл Густав Юнг с неговото „колективно несъзнавано“; В поново време тук са работили и математици като Марвин Мински, един от идеолозите на изкуствения интелект.

Днес на мода са виртуалните социални мрежи и вече се приемат за обичайни твърдения, които допреди петнадесетина години звучаха изолирано – като например това, че *човекът в обществото (Мрежата, Интернет, Фейсбук, Твитър, ЛинкдИН) е като отделния неврон в мозъка*. В същия дух е и популярното твърдение, че *социалната мрежа е просто едно фрактално разширение на невронната мрежа, представляваща човешкия мозък*.

Агаптивен резонанс и социална фракталност

Специалистите по невронни мрежи не са изненадани от този развой на събитията. Обектът на техните научни интереси по естествен начин ги е накарал отдавна да се замислят за въпросното фрактално разширение. Може би първият значим принос в разработването на аналогията между невронните и социалните мрежи принадлежи на Стивън Гросбърг – математически гений, един от основателите на математическата психология, съвременният Исаак Нютон на областта невронни мрежи. В серия публикации от шестдесетте и седемдесетте години на XX век той формулира и доказва теореми за свойствата и устойчивостта (по Ляпунов) на един клас динамични системи, описвани с обикновени нелинейни диференциални уравнения. Основна характеристика на тези системи е едновременното наличие на конкуренция и сътрудничество между елементите им, което прави поведението им много интересно. Гросбърг доказва, че техен частен случай е известната система от две уравнения на Лотка-Волтера за популационната динамика от типа „хищник-жертва“. Но многомерният случай се оказва далеч по-важен, защото представлява идеалният математически апарат за описание на онези взаимодействия между неврони в мозъка, които са в основата на когнитивни процеси като формиране на възприятия, впечатления, запаметяване, съсредоточаване, фокусиране на вниманието, сетивна адаптация, изработване на предпочитания, вземане на решения. В серия публикации от осемдесетте години на XX век, както и в по-ново време, Гросбърг показва как създаденият от него математически апарат може да бъде полезен при изучаването на икономически явления, свързани с пазарни взаимодействия, като успя мимоходом да ци-

тира дори монадологията на Лайбниц.

Един пример за такова приложение е аналогията между следните две явления. Първото е свързано с мозъчни структури, в които невроните от даден слой са вплетени в конкурентна борба помежду си и така взаимодействат локално, но демонстрират колективно поведение на макро равнище. По същия начин действа и „невидимата ръка“ на пазара (по израза на Адам Смит), която кара икономическите агенти да предлагат своите стоки и услуги, водени не от алтруистични подбуди, а поради собствения им личен интерес. Друг пример е установяването на необходими и достатъчни условия за стабилност (по Ляпунов) на конкурентни пазари, на които фирмите разполагат с непълна информация за икономическата конюнктура.

За жалост тези теоретични приноси
останаха встрани от основното
развитие на науката през последната
четвърт на XX век.

Те бяха твърде интердисциплинарни и, за да бъдат разбрани, изискваха от читателя познания едновременно по математика, компютърна наука, психология и невробиология, а това дори днес продължава да е твърде висока летва. Може би ще се окаже вярна максимата, че ако някой изпревари времето си твърде много, трябва да изчака да бъде достигнат.

Междувременно Гросбърг продължи да развива своите теоретични модели като през втората половина на седемдесетте и осемдесетте години на XX век те вече обхващаха сложни когнитивни явления, като взаимодействието между разпознаване на образи и поражданите от тях положителни и отрицателни емоции, формирането на емоционална памет и условни рефлексии при класическото

и оперантното обуславяне и редица други. Централно място сред тях заема теорията на адаптивния резонанс, която обяснява механизма на ученето. Според нея новото знание се складира във връзките между невроните в мозъка, като в първо приближение ключова роля играят три свързани слоя неврони, обменящи сигнали помежду си. Протичат два информационни потока: „от долу нагоре“ постъпва информация от сетивата, идваща от заобикалящия свят, а „от горе надолу“ се порожда асоциации между нея и вече натрупаните знания. Така тези два потока взаимодействат в процес на сравнение и съпоставяне, в резултат на който се формират впечатления. Усвояването на ново знание представлява запаметяването на впечатленията в по-висши дялове на мозъчната кора. Тези невронни слоеве са показани схематично на фиг. 1.

Основният елемент в Теорията на адаптивния резонанс е Адаптивно-резонансната невронна мрежа (ART). Тя дължи името си на начина на обработка на информацията, който е аналогичен на физическия резонанс в механични и електрически системи. Това, което „резонира“ в нея, е информацията – във вид на многомерни сигнали между двата най-горни слоя неврони F_1 и F_2 на фиг. 1. Когато от сетивата, представени обобщено чрез невронния слой F_0 , постъпи външен сигнал (образ), мрежата търси да извлече от „спомените“ си негов достатъчно близък аналог. Ако такъв съществува, той бива активизиран и в мрежата протича информационен обмен, наречен „адаптивен резонанс“. Биокibernетично погледнато, това е процес на изпращане на сигнали на положителна обратна връзка между F_1 и F_2 , при което процесът успява да се самоподдържа за известен период от време и в резултат се извършва трайна биохимична промяна в синапсите между невроните, участващи в резонанса. Само в това състояние мрежата е способна да промени и актуализира наличното знание. Ако в старите знания не съществува достатъчно близък аналог, тя отделя неизползвано подмножество неврони в най-горния слой за усвояване на новото знание, при което също влиза в състояние на информационен резонанс.



Фиг. 1. Усвояване на нова информация според теорията на адаптивния резонанс. Невронните слоеве F_1 и F_2 влизат в „адаптивен резонанс“, т.е. режим на работа, при който някои връзки между невроните в тях се променят под влияние на новопостъпила информация и така се актуализират съществуващи знания или се формират нови

Когато постъпващата информация е по-сложна и може да се разчлени на два компонента – стимул–реакция, причина–следствие, или по-технически казано – вход–изход, се появява необходимостта всеки от компонентите да се усвоява в отделен адаптивно-резонансен модул. Тогава теоретичният модел се усложнява, като модулът на входовете играе подчинена роля спрямо модула на изходите. Това вече е Адаптивно-резонансна класифицираща невронна мрежа (ARTMAP) и с нея могат да се решават задачи като например следната: от всички видове горски гъби, с многобройните прилики и разлики между тях, да се идентифицират ядливите и те да се отделят от отровните. Сега модулът на изходите трябва да съдържа

две категории (ядливи гъби, отровни гъби), а модулът на входовете – десетки и стотици категории, всяка от които складира знанието за даден вид гъба. Хилядолетният човешки опит в тази област вече е натрупан, което означава, че в справочниците по гъбарство и в главите на опитните гъбари са изградени съответните правилни връзки между двата модула на невронната мрежа. За да стигнем дотук обаче, нашите предци са преживели драматичен процес на проби и грешки – включително скъпоструващи. С други думи, тази колективна мрежа на знанието ART-MAP е преминала дълъг процес на обучение, в който входният модул е правилно определени категоризации, които са били одобрявани или отхвърляни от изходния, а това е карало входния да търси нови асоциации и решения. Всъщност така описаната мрежа е непълна – има гъби, които се използват за медицински цели, а също и такива, които са едновременно безвредни и безполезни – това увеличава броя на категориите в изходния модул на общо четири.

Внимателният читател може би е забелязал, че тук смесихме знанието на отделния гъбар, складирано в неговата собствена мозъчна кора, с колективното знание на цялото човечество относно гъбите, което е разпръснато в справочници, енциклопедии, списания и учебници по биология и медицина на много езици, от различни епохи, с различно качество. Това означава, че теорията на адаптивния резонанс, измислена за обясняване на някои когнитивни процеси при човека и други животински видове, може да се използва за вграждане в компютърни алгоритми за експертни и консултиращи системи. На практика това вече е направено в медицината, самолетостроенето, картографирането по спътникови снимки, роботиката, както и в други области.

Но мисълта ни може да тръгне и в различна посока. След като установихме, че социалната мрежа представлява фрактално обобщение на невронната мрежа (мозъка на отделния човек) и моделирането на невроните може да се пренесе върху икономическите агенти, *защо да не вземем наличните*

теоретични модели за адаптивно-резонансното функциониране на мозъка и да опитаме да ги използваме за анализ на обществени процеси? Вървейки по този път, можем да решим да изследваме социални явления, за които сме натрупали богат емпиричен материал, но не разполагаме със задоволителни теоретични обяснения, а още по-малко – с методи за прогнозирането им. Ако имаме късмет и тази дейност се окаже плодотворна, тя може да се развие и да застане в основата на една нова област на знанието, която да изучава *социалната фракталност* – т.е. явленията, при които когнитивни механизми в психиката на отделния човек се проектират върху неговата социална среда и взаимодействия.

Ключово за успеха на начинанието е да разполагаме с достатъчно богат избор на модели, което в наши дни е вече изпълнено.

Следващата стъпка е компетентни хора да започнат да полагат изследователски усилия. Естествено в началото моделите ще са чисто феноменологични и за прогнозиране няма да става и дума. Но по-нататък дейността би могла да тръгне по отгъпкания път на всяка друга научна област и след време да постигне ново, по-високо равнище на разбиране на обществените процеси.

Пишещият тези редове стигна до последните изводи по криволичесък път. През януари 1996 г. той бе млад докторант и се готвеше за минимума по специалността, усърдно четейки научни статии предимно от списанията на IEEE. Вниманието му бе привлечено от един клас невронни мрежи, които се различаваха коренно от всички останали. Невроните в тях бяха четири-пет вида, взаимодействията по начини, нямащи нищо общо с това, което правеха елементите в многослойния перцептрон или в мрежите с радиално-базисни функции, и цялата работа приличаше по сложност по-скоро на правилата на шахмата.

Нещо друго обаче имаше по-голямо значение. Колкото повече докторантът на-

влизахе в материята, толкова повече го обземаше чувството, че се изправя пред нещо много познато, но с неясни контури и произход. Обект на конкретната статия бе поредният нов компютърен модел от фамилията ARTMAP. Когато работата на алгоритъма бе разбрана напълно, дойде ред на *изумлението*. Начинът, по който невроните от слоя F_1 търсеха кандидат измежду невроните от F_2 , който да ги представлява и да усвои текущия входен образ, в определен смисъл отразяващ моментната ситуация в заобикалящата среда, доста напомняше на нещо. Междувременно кандидатът от F_2 се изправяше пред ново изпитание – трябваше да се установи доколко е адекватен да усвои входния образ, което означаваше доколко е подобен на него, а за това съществуваше точен количествен измерител, наречен „праг на критерия за сходство“. Ако не успееше, той биваше отхвърлен и се пристъпваше към търсене на следващ кандидат, който също можеше да не успее. В един момент се намираще такъв, който удовлетворяваше количествения критерий, и с това въпросът бе временно решен, а входният (младшият) ART модул изпадаше в моментно равновесие. Незабавно той отправяше запитване към изходния (старшия) ART модул относно адекватността на избрания неврон от една по-обща гледна точка – дали този неврон вече принадлежи към правилна входно-изходна връзка или ще изгради такава. При късмет следваше положителен отговор и цялата ARTMAP система изпадаше в състояние на адаптивен резонанс и актуализираше знанията си и по-конкретно усвояваше постъпилния входно-изходен образ. При отрицателен отговор се включваше „процедура за следящо съответствие“, състояща се в подмолно увеличаване на стойността на прага на критерия за сходство, така че току-що победилният неврон от F_2 на младшия ART модул да се окаже в невъзможност да отговори на новите по-високи изисквания, а те бяха повишени точно с толкова, че именно той да загуби легитимност. Следваше отстраняването му от процеса, при което прагът на критерия за сходство се намаляваше до обичайното си равнище, за да се даде възможност на някой нов неврон от F_2 да си опита късмета.

Цялата работа неудържимо приличаше на серия парламентарни процедури в един политически процес, в който се издигат кандидати за министър-председател, правителства идват на власт и падат при вотовете на недоверие или под въздействието на нови обществени настроения и променена политическа обстановка. Ако оприличим постъпилния в системата ARTMAP входно-изходен образ на един конкретен момент от общественото развитие, на една страна, следва да конкретизираме, че младшият ART модул се явява аналог на нейната политическа система, а старшият представлява нещо като суверен, т.е. това е народът или пък е съвкупен образ на изискванията на времето, повелята на историята, законите на общественото развитие или нещо подобно. Аналогията, която нашият докторант видя тогава, накратко може да се покаже на фиг. 2.

Изглеждаше много странно, че един алгоритъм за разпознаване и класификация на образи, предназначен за инженерни и информатични приложения и публикуван в научно списание с именно такава насоченост, е поразяващо близък до начина и правилата на функциониране на една парламентарна политическа система. Последвалите проучвания показаха, че въпросният алгоритъм представлява адаптация на математически модел на когнитивни процеси в мозъка и следователно е поредният пример за това как постиженията на природата биват имитирани при създаването на нови технологии. Накратко, всичко си дойде на мястото.

Исторически погледнато, Гросбърг посочва като източник на вдъхновение великия физик и физиолог от XIX век Херман Фон Хелмхолц, който още през 1866 г. е развил в зачатъчен вид идея, подобна на тази за адаптивния резонанс. По-конкретно той е предложил „теория за несъзнаваното умозаключение“, според която сетивата променят постъпващата информация под влияние на предишния ни опит, а едва след това се оформя представата ни за обекта на наблюдение. Така ние възприемаме и впоследствие заучаваме предимно това, което очакваме и за което сме подготвени от вече натрупаните знания и опит. Процесът се извършва в кон-

Адаптивно-резонансни взаимодействия в мозъка	Демократични парламентарни процедури
Постъпва нов многомерен сигнал (образ) X_1	Нова политическа ситуация, водеща до парламентарни избори
Образът се появява в долния невронен слой F_1 .	Сформират се парламентарни групи.
Слой F_1 активизира горния невронен слой F_2 .	Депутатите започват работа по съставяне на правителство.
Неврон J_1 от F_2 , съдържащ прототип, най-сходен с образа X_1 съгласно количествен критерий за сходство α , се опитва да усвои X_1 във връзките си с невроните от слоя F_1 .	Кандидат J_1 , излъчен от най-голямата парламентарна група, получава проучвателен мандат за съставяне на правителство.
Сходството между прототипа на неврон J_1 , от една страна, и образа X_1 , от друга, се оказва достатъчно съгласно количествен критерий за сходство β .	Кандидатът J_1 успява да събере нужния брой гласове и съставя правителство.
Минават стотици милисекунди...	Минават десетки месеци...
Постъпва нов многомерен сигнал (образ) X_2	Нова политическа ситуация, водеща до падане на правителството
Образът се появява в долния невронен слой F_1 .	Реорганизират се парламентарни групи.
Слой F_1 активизира горния невронен слой F_2 .	Депутатите започват работа по съставяне на правителство.
Неврон J_2 от F_2 , съдържащ прототип, най-сходен с образа X_2 съгласно количествен критерий за сходство α , се опитва да усвои X_2 във връзките си с невроните от слоя F_1 .	Кандидат J_2 , излъчен от най-голямата парламентарна група, получава проучвателен мандат за съставяне на правителство.
Сходството между прототипа на неврон J_2 , от една страна, и образа X_2 , от друга, се оказва недостатъчно съгласно количествен критерий за сходство β .	Кандидатът J_2 не успява да събере нужния брой гласове и не успява да състави правителство.
Неврон J_3 от F_2 , съдържащ втория по близост прототип до образа X_2 съгласно количествен критерий за сходство α , се опитва да усвои X_2 във връзките си с невроните от слоя F_1 .	Кандидат J_3 , излъчен от втората по големина парламентарна група, получава проучвателен мандат за съставяне на правителство.
Сходството между прототипа на неврон J_3 , от една страна, и образа X_2 , от друга, се оказва недостатъчно съгласно количествен критерий за сходство β .	Кандидатът J_3 не успява да събере нужния брой гласове и не успява да състави правителство.
Неврон J_4 от F_2 , съдържащ третия по близост прототип до образа X_2 съгласно количествен критерий за сходство α , се опитва да усвои X_2 във връзките си с невроните от слоя F_1 .	Кандидат J_4 , излъчен от третата по големина парламентарна група, получава проучвателен мандат за съставяне на правителство.
Сходството между прототипа на неврон J_4 , от една страна, и образа X_2 , от друга, се оказва достатъчно съгласно количествен критерий за сходство β .	Кандидатът J_4 успява да събере нужния брой гласове и съставя правителство.
Минават стотици милисекунди...	Минават десетки месеци...
Постъпва нов многомерен сигнал (образ) X_3	Нова политическа ситуация, водеща до парламентарни избори
Образът се появява в долния невронен слой F_1 .	Сформират се парламентарни групи.
Слой F_1 активизира горния невронен слой F_2 .	Депутатите започват работа по съставяне на правителство.
Неврон J_5 от F_2 , съдържащ прототип, най-сходен с образа X_3 съгласно количествен критерий за сходство α , се опитва да усвои X_3 във връзките си с невроните от слоя F_1 .	Кандидат J_5 , излъчен от най-голямата парламентарна група, получава проучвателен мандат за съставяне на правителство.
Сходството между прототипа на неврон J_5 , от една страна, и образа X_3 , от друга, се оказва достатъчно съгласно количествен критерий за сходство β .	Кандидатът J_5 успява да събере нужния брой гласове и съставя правителство.
Минават стотици милисекунди...	Минават десетки месеци...

Фиг. 2. Проявление на социалната фракталност. Процеси в мозъка, които протичат в секундният диапазон, се проектират и повтарят в обществени процеси, развиващи се в продължение на години

кретни мозъчни дялове, като по-близко разположените до сетивата са по-нисши в смисъл на абстрактност на когнитивния процес. Те служат за база, извършваща първоначалната обработка на информацията, впоследствие предоставяна на по-висшите дялове за вземане на решения. Изглежда всяка историческа епоха се характеризира с определени философски идеи, които успяват да проникнат в различни и на пръв поглед несвързани области на науката. Можем само да гадаем дали известната теория за базата и надстройката в общественото устройство е заимствана от психофизиологичната теория на Хелмхолц или е станало обратното.

Адаптивно-резонансните взаимодействия на фиг. 2 са показани по такъв начин, че максимално да приличат на демократичните парламентарни процедури в почти всички европейски страни. Обаче с незначителни промени те могат да наподобят точно толкова успешно и политическата система на САЩ или други президентски републики, изборът на папа от конклава на кардиналите, изборите за консули в Древния Рим, а дори и издигането и падането на диктаторите в недемократичните страни в миналото и днес. В по-малък мащаб ръководителите на съвременните организации, корпорации, сдружения и т.н. се избират по подобен начин. Ако погледнем и към животинския свят ще видим, че не само

пчелите имат върховен ръководител. Ятата от прелетни птици, ятата от делфини, стадата от маймуни, газели, слонове и т.н. също имат своите водачи, които стават такива след съответни ритуали, понякога безпощадни. Изглежда не е лишен от основание принципът, че където има естествена невронна мрежа, тя се възпроизвежда по фрактален начин в социална мрежа.

Тук посочихме една хипотеза за социална фракталност, която се зароди преди много години. Днес тя звучи естествено, но по-важно е с какви средства може да се провери и как това би допринесло за по-задълбоченото разбиране на социални процеси в различни мащаби.

Самият термин *социална фракталност* ни хрумна още през деветдесетте години на миналия век, но това няма особено значение, защото същността, която той обозначава, е била известна на някои от споменатите тук учени много по-рано. В своята книга „Черният лебед“, публикувана през първото десетилетие на XXI век, известният икономист Насим Талейб говори за социална фракталност при откритието на Манделброт за цените на памука в различни мащаби на времето. Има и други случаи на употреба на това словосъчетание и те всички имат основание. Важното е как смисълът на идеята да бъде използван за полезна работа.

Литература

1. Christakis, N., J. Fowler. 2009. Connected: the surprising power of our social networks and how they shape our lives. New York, Little, Brown, and Company.
2. Gigerenzer, G. 1994. Why the distinction between single-event probabilities and frequencies is important for psychology (and vice versa). – In: G. Wright & P. Ayton (Eds.), Subjective probability. Chichester, Wiley, 129-161.
3. Grossberg, S. 1988. Nonlinear neural networks: Principles, mechanisms, and architectures. Neural Networks, 1, №1, 17-61.
4. Grossberg, S. 1980. Biological competition: Decision rules, pattern formation, and oscillations. – Proceedings of the National Academy of Sciences, 77, №4, 2338-2342.
5. Leibniz, G. 1714. The Monadology. Translated by George MacDonald Ross, 1999 (цитатът е от §67).
6. Wolpert, D.H., W.G. Macready. 1997. No free lunch theorems for optimization. – IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1, 1, 67-82.
7. Лъво Бон, Г. 2003. Психология на тълпите. София, Жарава.
8. Попиванов, Д. 2002. Динамика на мозъчните електрични сигнали и когнитивни процеси: Технология на изследването. София, Изд. на НБУ.