

Сергей Герджиков

Проект „Искусствен интелект”

– биологично ограничение

Сергей Герджиков

Професор по Философия на науката, Софийски университет

Проект „Искусственный интелект” – биологическое ограничение

Project “Artificial Intelligence” – biological limitation

Сергей Герджиков

Професор Философии науки, Софийский университет

Serghey Gherdjikov

Professor in the Philosophy of Science, Sofia University

gherdjikov@gmail.com

"Интелект" является поведение выживания и экспансия организмов в изменчивом окружении. Машины, в том числе роботов, управляемые компьютерами, не может воспроизводить живой организм, и поэтому не может иметь интеллигентное поведение, в том числе интеллигентное функционирования компьютера в качестве аналога мозга.

The thesis of this report is that there is a crucial biological limitation of artificial intelligence project. "Intellect" is the behavior of the expansion and survival of organisms in a variable environment. Machinery, including robots run by computers, do not reproduce a living organism and therefore may not have intelligent behavior.

Искусственный интелект, естественный интелект, мозг, компьютер, кортекс
Artificial Intelligency, Natural Intelligency, brain, cortex

Проектът Искусствен интелект

Проектът „Искусствен интелект” на Западната технология следва традицията на изчислителната техника, на компютрите и специално идеята на Тюринг за „изкусствен интелект”, развит в статията на Алън Тюринг: “Computer Mashinery and

Intelligence”, 1950. Предвиждането на Тюринг е, че след петдесет години (2000 г.) компютър ще издържи теста пред експерт за пет минути.

Проектът за изкуствен интелект върви в „пакет” и изчислителната теория на човешкия интелект и специално на мозъка. Дейвид Мар от Масачузетския технологичен Институт разработва теория първо на моторния кортекс, а след това систематично и пълно на визуалния кортекс (Marr, D. *Vision*, 1980). В тази теория визуалната информация постъпва като пиксели в двуизмерната ретина. От там по невронен път и в зрителната кора се извършва преобразуване, подобно на програмното преобразуване на данни, към 3-измерна визия. Стивън Палмър представя подхода така: Information Processing „е подход, който позволява на учените да говорят за това, как хората виждат в същите термини, в които говорят за това, как компютрите могат да бъдат програмирани да виждат” (Palmer 1999, 6).

Проектът е мощен, щедро финансиран и амбициозен, в него са ангажирани блестящи специалисти за няколко десетилетия, но твърде скромни в резултатите си. Някои оценяват състоянието му като провал. Джеф Хокинспита реторично: „Защо един шестгодишен хлапак грациозно и плавно скача от скала на скала, докато най-напредналите роботи на нашето време са непохватни зомбита?” (Howkins 2004, 5). Аз не искам да следвам досегашния начин на изследване на мозъка. Биолозите не се съгласяват, че мозъкът изчислява. Успехите в технологията могат да придвижат разбирането на мозъка.

Проблемът с изкуствения интелект в смисъла на Тюринг не е решаването на изчислителни задачи от все по-голяма сложност по програми, а адаптивното поведение в променлива среда. Компютър може да се програмира да играе шах на много високо ниво, като „Дийп блу”, но с програми за шахматни дебюти и партии и много данни от партии на един шахматист, при това с пълно проиграване на всички възможни ходове, ограничени само от дебютните ходове и някои безперспективни стратегии, които е много трудно да се определят.

Изкуственият интелект по проект трябва да наподобява естествения – да не може да се различи при имитационна игра (тест на Тюринг).

Неокортекс – структура

Неокортексът е пласт неврони I с дебелина от 2 до 4 мм, разположени в йерархия от пет нива. Отгоре надолу те са V1 – V 5.

Функциите на неокортекса са сензорно възприятие, изпълнение на моторни команди, осъзнато мислене и реч у хората.

Какво е интелигентността и какво е да разбираш? Коренна идея на теорията е „the memory prediction framework” (мнемопредиктивна рамка). Глава 6 – как мозъкът имплементира модела на тази рамка – как мозъкът работи

Рудолфо Линас, признаван като „баща на съвременната невронаука”, изтъква и разработва такива качества на неокортекса като синхрон, резонанс, модулиране от сетивата, предикция (Llinas 2000). Именно неговите постановки са в основата на най-новите теоретизации в неврофизиологията.

Изключително добре разработена е теорията на Стивън Гросбърг – ART („Адаптивно-резонансна теория”) (Grosberg 2007)

Джеф Хокинс разработва конквентна, но в много отношения аналогична теория (TIM) („Йерархическа Темпорална Памет”) (Howkins 2004)

Джеф Хокинс формулира въпросите:

1. Как една област на кората класифицира нейните входове (като кофите)?
2. Как се научават поредици от патерни (като интервали от една мелодия, или "око окото носа" на лицето)?
3. Как се образува постоянен патерн или "име" на последователност?
4. Как се правят конкретни прогнози (хващане на влака в точното време, или предсказване на специфична нота в една мелодия)? (ibid.)

Всяка колона репрезентира етикета на кофа. Колоната съответства на група квалии. При възприемане на позната картина се актуализира паметов модел, който обхваща група колони на всички нива и картината се идентифицира веднага, при това плаващо, в поток. При среща с непознат елемент сигналът пробива нагоре през нивата, докато достигне нивото, на което се разпознава. Ако не се разпознае по памет, се създава нов модел и се спуска надолу за моторна реакция.

По модела проба-грешка или права и обратна връзка – top down – bottom up, се регенерират патерни и се проецират в предекции, както и в моторни команди.

Ограничения на тези модели

Ограниченията на класическите компютърни модели с линейно и паралелно изчисление на информация са огромни. те се свеждат до това, че напълно отсъства динамично разпознаване и предикция.

1. Проблемът за разпознаване на писмени знаци от ръкопис.

Динамичното разпознаване на визуална информация (информация от пиксели на камери), среща огромна информационна бариера – всеки миг осветеността може да се промени, а при движение всеки миг целия план, описван от пиксели, у се променя – ние завъртаме глава и зрителното поле се променя, но ние продължаваме да разпознаваме картината. Компютърът трябва постоянно да преизчислява. Това се оказва непосилно поради огромния поток от пиксели, които се променят, и главно поради пълната неопределеност на предметите: маса, стол, прозорец, врата.

Или да вземем образ например на една буква, ръкописно изписвана. Буквата *к* изписана на ръка от различни хора. Можем ли да зададем буквата *к* като инвариантен патерн? Например една права линия и две пречупени, съединяващи се в средата на правата. И този модел няма да работи, защото ръкописно ние не изписваме прави, нито спазване напълно събирането на двете прави в средния район на вертикална права. Може да напишем *к* и без да съединяваме трите прави линии, а като оставяме кухина или като изписваме малка права напред в средния участък на вертикалната права и после две наклонени.

2. Проблемът за разпознаване на образи

Компютърът не вижда образи. Компютърът не вижда и редици от нули и единици – той нищо не вижда – няма квалити. Компютърът не „оцелява” и няма „нужда” изобщо да прави каквото и да е – на него трябва да му се предпише какво да прави а как примерно да се „самообучава”. Самообучението, зададено в програма, има радикално ограничение – то е насочено към определени класове операции, а не към интегрална функция като адаптация или оцеляване.

Компютърът обработва пиксели в редици от два знака – 0 и 1, а не образи на предмети. Ако му бъде зададено „оцеляване” като запазване на структурната цялост срещу увреди, износване, той ще се самоизключи като гаранция за оцеляване. Но биологичните системи се възобновяват, ресинтезират, срещу спонтанното си разпадане.

Какво прави мозъкът?

Това, което генерира и реенерира мозъкът, това е структурата на света, но не като система от физически обекти и закони, а като среда за оцеляване, ресинтез, експанзия. Мозъкът не търси и не открива една предзададена отвън структура, той генерира адекватни действия, опосредени от живи образи. Въобразено действие и реално действие се обработват по един и същ начин. Той само използва обратна

връзка, за да регулира картината на света така, че да оцеляваме. Формата на сетивния свят е все пак генетично и морфологично „априорна”, специфична за телесната, респ. сетивната, респ. коровата организация на вида, за *Homo sapiens*, тя е изградена от човешките сетива и от мозъка, от цялото тяло в крайна сметка. Общото и единичното, нивата и сериите, са създавани от мозъка като йерархичен процес на организация в хаотична среда и при постоянното разпадане на връзки. Ние забравяме и си припомняме, синапсите отслабват и се усилват, активирайки се от нов опит. Това е, което пропуска Хокинс заедно с всички репрезентационисти и програмисти.

Начинът на функциониране на сетивните клетки и мозъчните центрове е генетично програмиран. А гените се грижат не за познанието на света, а за оцеляването на самите себе си, на своите тела и на видовете.

Главният мозък е интегрална органична форма. Централната нервна система функционално интегрира живата форма, която се движи автономно и възприема, животното. Главният мозък приема и анализира информацията от средата, той регулира функциите и поведението на живата форма.

Както живата форма е интеграл относно органичните форми, така нервната система е интегрална органична форма сред другите органични форми. Неврната система при животните има специална интегрална функция – организиране на ресинтеза.

Мозъкът е претърпял дълга еволюция. Нерви и мускули вървят заедно като органично цяло. Там, където движението е автономно, се синтезира централна регулация на жизнените процеси поради високата сложност на ресинтеза. Проблематичният ресинтез е стимулирал синтеза на нервна и същевременно на двигателна системи.

Главният мозък на човека е върхът на еволюцията на нервните системи и тялото на човека вероятно е върхът на еволюцията на двигателните системи. Изправената стойка и ходенето на два крака освобождава ръката и я прави специализирана за производство и боравене с всевъзможни оръдия.

Човешкият мозък е специфичен с изключителното развитие на краен мозък (cerebrum), който се надстроява над наследения малък мозък (cerebellum). За него е специфично развиването на кора (cortex) – мрежа от 100 милиарда нервни клетки – носител като цяло на съзнателната форма на живеене и регулация на човешкото тяло.

В мозъка намираме невероятно множество невронни мрежи (органични форми), които организират човешката форма и ‘презентират’ света, какъвто е за нас, хората.

Компютърната теория на мозъка – метафора и утопия

В когнитивните науки доминира компютърната теория за мозъка, която го представя като ‘информационен процесор’.

Това е добър концептуален модел или дескрипт в рамките на информационната парадигма. Като цяло това е само модел, а не адекватна теория. Моделът е принципно неадекватен. Компютрите са машини и не живеят, затова не могат да са адекватен аналог на живи и органични системи, каквато е мозъкът.

Мозъкът не изчислява, нито ‘обработва информация’, а организира реални жизнени процеси.

Мозъкът е ‘аналогов’, а компютърът е ‘цифров’. Мозъкът не работи с универсална и неизменна знакова система, подобно на компютъра, и следователно не прави изчисления в прекия смисъл на тази дума.

Мозъкът не е детерминиран в сравнение с компютъра. Мозъкът функционира във висока степен неопределено.

Състоянието на единичната нервна клетка не е аналог на състоянието на една единица от процесора на компютъра. Наличието или липсата на електрически сигнал или възбуждането и подтискането не са два неделими атомарни процеси, подобно на компютърните, а са динамични органични състояния.

В мозъка не са отделени ‘хардуер’ и ‘софтуер’. В едни и същи форми се ‘разтварят’ и ‘процесор’, и ‘програми’.

Процесите на синтез, пренос и обработка на сигнали в мозъка са само едната страна на неговата работа. Другата страна е регулацията на органичните форми. Това не е аналог на ‘обработване на информация’, (information processing).

Да смятаме мозъка за компютър значи да си представим живото като неживо, човека като машина и мозъка като информационна система. Оттук следва утопията за мислещата машина, киборга, андроида – машини, създадени за да се държат като хора. Това е напълно безсмислено, доколкото само хората осмислят всевъзможните машини, знакови системи и познавателни форми.

Възможност, ако виждането е изчислителен и репрезентативен процес, както е описан от Дейвид Мар, то фотоапаратите, обработващи образ на матрицата или

фотокадъра виждат; компютрите виждат, обработвайки фотографии и филми с програми като Photoshop и Premier. Никой, включително и въпросните теоретици, няма да признае това. Но няма начин то да се избегне.

Затова компютърният модел на мозъка е само един модел, който силно преувеличава определеността, детерминацията на жизнения процес: усещане–възприятие–представа–мислене–действие и фатално игнорира живеенето на света.

Мозъкът действа недетерминирано и именно затова може да синтезира нови форми и серии, които не са програмирани. Само с такъв синтез на нови форми се решават постоянно променящите се проблеми в жизнения процес.

По начало жизненият процес е проблематичен и изисква постоянен синтез на нови смисли – нещо, което програмите по дефиниция не правят и не допускат.

Презентация

‘Презентация’ и проекция. Презентацията е проекция на форма в друга форма на друго ниво – синтез на смислена информация ‘от’ друга смислена информация.

Емпиристи, Кант, феноменолози, кантианци, ремкеанци и представители на аналитичната философия използват интензивно понятията ‘дадено’ и ‘представено’. Понятието ‘презентация’ е интензивно използвано в когнитивните науки и специално от Дейвид Мар, лидер на движението за компютърно описание и обяснение на зрението.

Презентацията е понятие в рамките на обект–субектната релация. Презентация (репрезентация) реферира нещо, което се представя на някого: обект–субектен трансфер.

Допуска се, че обектите се презентират в познавателни субективни форми: усещания, възприятия, понятия. Така електромагнитните вълни се презентират като светлинни интензивности и цветове в зрителното възприятие. Образът в ретината е двумерна презентация, а образът в зрителния анализатор е тримерна репрезентация.

Това старо допускане, експлицитно развито от Джон Лок, е погрешно. Това показва Джордж Бъркли. Сетивното не представя ‘несетивното’, защото нашите представи за несетивното са сетивни.

Презентацията запазва класическото деление субект–обект, което тук се разтваря. Така презентацията се разтваря като субект–обектна зависимост. Но това, което се мисли като презентация, остава в някои отношения. Това е проекцията на смислена информация от една форма в друга.

Физичните понятия за невидимите обекти са проекция на видимите форми – пространствените тела. Физичните понятия са репрезентации на сетивните форми, а не обратно.

Асиметрията на понятието реферира еднопосочност: нещо се представя като друго, форма от едно ниво се представя на друго ниво. Понятието ‘проекция’ също има това асиметрично значение. Но тук ‘презентацията’ е активната, тя проецира, а в класическия смисъл обектът е активният. Но където има даване, има вземане.

Презентациите са проекции в рамките на живата форма. Проекцията от една знакова система в друга и специално преводът е презентация (репрезентация). Числата могат да се записват в различни цифрови системи: десетзначна (десетична), двузначна (двоична) и т.н.

Понятията могат да се мислят като презентации на групи възприятия (обекти, отношения, процеси).

Презентациите могат да повишават организацията, като намаляват количеството определения, разнообразието. С това те намаляват (възможната) ентропия. Така една презентация, която опростява формата, я прави по-стабилна.

Не всички определения могат да се елиминират. Някои определения правят формата каквато е: органична форма, жива форма. Те се запазват. Но има ред определения, отнасяния, моменти, които могат да се елиминират, без формата да стане неорганична, без живото да се разпадне. Това е залегнало в корена на делението ‘важно–неважно’, ‘съществено–несъществено’, ‘необходимо–случайно’.

Намаляването на разнообразието (опростяването) очевидно намалява ентропията. По-малко единици презентират по-малко информация. По-малко структурни елементи образуват функционираща структура. По-малко информация е нужна за описанието на системата. По-малко ентропия произвежда системата.

Реално всяка презентация относно оригинала (първата форма) е в неопределеност. Виртуално е възможно една презентация да е напълно определена. Така едно цяло число може пълно да се запише както в десетична, така и в двоична бройна система. Но реално всяка презентация губи нещо от оригиналната информация (и прибавя нещо). Така реалните преводи от един език на друг променят изказите. Реалната проекция на образа от ретината в образ в зрителния анализатор губи някаква информация и добавя някаква информация (например възстановява триизмерните обекти от двуизмерните проекции върху ретината).

‘Стимул–реакция’. Двойката ‘стимул–реакция’ е израз на концептуално съотнасяне на направленията ‘от света към тялото’ и ‘от тялото към света’. Това концептуализиране е в рамките на класическа европейска парадигма – ‘субект–обект’, в която живата форма се свежда до рефлексивна система. Реално живата форма не отразява средата, а се вписва в нея като форма, която се ресинтезира. Реално стимулт и реакцията са синтези в живата форма – и в двете посоки се следва ресинтез. Реално в средата нищо не се ‘насочва срещу’ организма, а е неутрално и относително разрушаващо спрямо запазването му.

Живата форма пропуска смислените за ресинтеза си процеси. От светлината, която се разпространява във всички посоки, живата форма синтезира зрителен образ, асимилирайки само специфични честоти в специфични цветове, специфични пространствени форми, съотнесени с тялото, в средата на които се прокарва движението на тялото. Така ‘стимулт’ не е пряк пренос на форма от среда към организъм, а е акт на синтез на форма – зрителен образ. Реакцията е следващ акт, координиран с акта на синтез на образа. Тялото извършва ориентирано движение – търсене на храна, избягване на опасност.

Стимулт не е просто процес от света към тялото, а и процес от тялото към света. Организмът трансформира физичен процес от средата в жизнен процес.

Така стимулт и реакцията са две фази на жизнен процес, които са координирани в посока ресинтез на живата форма.

Реални зависимости между света и живата форма

Тук представям моменти от собствена концепция за света, тялото и мозъка, развита в двете монографии: *Човешката форма на света* и *Светуване* (Герджиков 2010)

Светът е такъв, каквато е живата форма.

Това определение е неутрално спрямо презентация, отразяване, причинност и цел. Реалните зависимости между света и живота тук са приложение на разбирането за относителност и реалност.

Така зримата форма е определен момент във формата на света на зрящото същество. Но няма детерминация, която да съотнесе реално, да свърже смислено структура в зрителния кортекс със зрима форма.

Тук ‘зависимост’ е неопределена свързаност или съответствие. Това съответствие не е определено като съотнасяне или насочен процес и не е детерминирано като пренос на енергия, вещество и информация.

Взаимната зависимост между жива форма и форма на свят не е проекция на форма, подобно на проекцията на триизмерна фигура върху двуизмерна плоскост.

Тази ‘корелация’ не е причинно-следствена верига. Не може да се проследи непрекъснат процес с фази причина и действие (следствие) между света и живата форма, между средата и тялото, между тялото и главния мозък. Цветът не е детерминирано следствие от функционирането на зрителната система. Самата зрителна система не е отражение или детерминирано следствие на средата (примерно на светлината).

Могат да се определят следните важни съответствия от този тип:

- свят – жива форма;
- среда – тяло;
- тяло – главен мозък.

Съответствието не е презентация. Презентациите могат да се обърнат. Може да се каже, че ‘светлината’ като физичен обект и процес, е презентация на феноменалните форма и цвят. Нали ‘светлината’ е реална само каквато я виждаме, а физичното понятие е виртуален артефакт, синтез в науката.

Съответствието не е причинност. Причинностите могат да се обърнат. Обикновено физиолозите описват феномените като следствия от физични и физиологични причини. Така се оформя причинна верига: физичен свят–физиологична форма–психична форма. Това е ненаучно метафорично описание. Не е възможно да съществува причинна верига между пространствено и непространствено, между физично и психично.

Причините по веригата физично–физиологично–психично могат успешно да се обърнат, което доказва несъстоятелността на каузалното описание. Така психичният процес на избор води до физиологичен процес на движение на ръката ми, а това движение води до преместване на физичен обект – молива на масата. Това обърнато причиняване също не е адекватно описание, защото допуска причинности между различни реални и виртуални същности.

Съответствие С – Ж

Дефиниция. Съответствие С – Ж: съответствие между свят и жива форма.

Аксиома. Живата форма съответства на форма на свят.

Светът е такъв, каквато е живата форма. Светът е поле на живата форма.

Форма – процес – форма = свят – време – свят

Това равенство е израз, аналогичен на уравнение и по този начин наподобява фундаменталните принципи, както са записвани във физичните теории.

Равенството е все пак условно и клони към метафора – отношението между свят и жива форма далеч не е равенство, а съответствие, заредено с неопределеност.

Европейските философи си представят света като сграда с основа – субстанцията. Далеч по-точно е да се уподоби света на живо тяло.

Живата форма се ресинтезира в жизнен процес и въпреки разпадните процеси си остава жива форма. Успоредно във времето се ресинтезира света и въпреки хаотизирането си той отново е същият свят.

Квалиите – единици от формата на света, съответстват на органични форми: сетивни анализатори.

Въпреки своята ефимерност и нестабилност, квалиите остават универсални и неизменни за една жива форма (човека). Те са най-определените елементи – форми на светуване. От тях се композират нещата. Те се възприемат като техни ‘свойства’. Ябълката е червена, кисела, твърда, кръгла.

Сетивната реалност („Феноменалният свят”)

Феноменалният свят не е субективна (ре)презентация на обективен свят. Феноменалният свят не е субективна (ре) презентация на обективен свят. Цветът далеч не е (ре) презентация на определени дължини на вълните, а още по-малко на светлината като ‘обект’. Различни комбинации от дължини могат да дадат един и същ цвят. Звукът не е (ре)презентация на съответния спектър звукови вълни. Мирисът далеч не е (ре)презентация на химичния състав на молекулите. Болката и удоволствието очевидно не са презентации на физичните свойства на обектите.

По-скоро обратно: теоретичните дескрипции: вълни – светлинни, звукови и т.н; молекули и твърди тела – са (ре)презентации на феноменалните форми (ноумените са презентации на феномените). Те наистина нямат реално съществуване въвн от нашите усещания.

Ето как двойката субект–обект не е адекватна.

Съответствие Свят – Тяло

Дефиниция. *Съответствие С – Т: съответствие между среда и тяло.*

Това е подобно на ‘принципиалната координация’ на Рихард Авенариус, в която ‘Аз’ (‘системата С’, или ‘централният член’) и ‘средата’(‘системата R’, или ‘противочлена’) са неразривни и необратими. Грешката на Авенариус е, че включва Аза в центъра вместо телесния възприемател.

Това е зависимост, която реално възприемаме в направлението жива форма – свят. Тя се бърка с направлението субективен феномен – обективен свят. Но ние никога не наблюдаваме нашето субект-обектно отношение. Ние можем само да наблюдаваме в нашия феноменален свят връзката на живата форма с нейната среда.

Визуалната форма се проецира в образ на ретината.

Така в съответствието не се утвърждава зависимост ‘между обект и субект’: причинност, отражение, презентация, дейност...

„Наблюдател и жизнена среда са комплементарни. Такива са и мрежата от наблюдатели и тяхната обичайна жизнена среда.

Компонентите и явленията на средата попадат в естествени единици. Тези единици се включват една в друга. Те не трябва да се смесват с метричните единици на пространството и времето“ (Gibson 1986, 15).

Съответствие Т – М

Дефиниция. Съответствие Т – М: корелация между тяло и главен мозък.

Тук, за разлика от съответствието тяло – свят, е налице реална координация. Тя е налице във всяко тяло с мозък. Мозъкът интегрира жизнения процес на тялото. Мозъкът презентира тялото – всяка част на тялото е представена в мозъка (проекция). Мозъкът управлява тялото – всяка част от тялото е управлявана от мозъка (проекция).

Съответствие (проекция) Р – В

Дефиниция. Съответствие (проекция) Р – В: съответствието между реално и виртуално, между свят и език, проекция на световите форми в артефакти и презентация на светови форми от артефакти. Тази съответствие е реално-виртуално и не е налице в самия свят, а само в смисловите актове.

Съответствието може да се определи в различни отношения като проекция, презентация, отразяване, референция, изобразяване, изказване, имитиране и т.н.

Визуалната форма се изказва в дума – ‘референция’.

Феноменалните цялости (светове) съответстват на живите видове. В същото положение на телесни форми на живот като нас са и другите живи същества. Това внася хомогенност в реда на живите форми и разтваря делението ‘човек–животно’.

Риби, птици, бозайници, насекоми имат непознати цветове ‘под’ виолетовия или ‘над’ червения, ултразвуци, инфразвуци, милиони миризми.

Литуратура

Shannon, K. “A Mathematical Theory of Communications”. *The Bell System Technical Journal* 27: 379–423, July, October, 1948

Turing, Alan. “Computing Mashinery and Inteligence”, *Mind*, 49, 1950, 433-460

Marr, David. *Vision. A Computational Investigation into the Human Representation and Proccssing of Visual Information*. New York: W. H. Freeman and Co., 1996

Palmer, Stephen. *Science of Vision: Photons to Phenomenology*. Cambridge: The Mit Press, 1999

Llinas, Rodolfo. *I of the Vortex. From Newrons To Self*. Bradford Books, 2000

Hawkins, Jeff, Sandra Blakeslee. *On Inteligence*. Times Books, 2004

Churchland, Patricia. *Neurophilosophy: toward a unified science of the mind-brain*. Cambridge – London: The MIT Press, 1986

Grossberg, Stephen. “Towards a unified theory of Neocortex”. *Progress in Brain Research*, Vol.165, 2007. *Computational Neuroscience. Theoretical Insights into Brain Function*, Chapter 6.

Норман Дойджи. *Невероятният мозък*. София: ИзтокЗапад, 2009

Герджиков, Сергей. *Формата на човешкия свят*. София: Изток-Запад, 2010

Герджиков, Сергей. *Светуване*. София: Изток-Запад, 2010