ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПУБЛИКАЦИОННАТА АКТИВНОСТ В ОБЛАСТТА НА НЕВРОННИТЕ МРЕЖИ

Акад. Иван Попчев
Александър Иванов, докторант
Бургаски свободен университет

RESEARCH ON PUBLISHING ACTIVITY IN THE FIELD OF NEURAL NETWORKS

Acad. Ivan Popchev
Alexander Ivanov, doctoral student
Burgas Free University

Abstract: *In this paper key phrases in the field of neural networks are examined in terms of usage in recent scientific publications. For the purpose of the research several on-line academic databases are explored: Science Direct, Scopus, Google Scholar, Springer Link and others. The examined period is from year 2000 to present with focus on last decade. The terms are examined in two main directions: used paradigms and aspects of neural computing. Calculations determining the change rate of the usage of concepts and also calculations concerning the changes in their respective share in the papers on the topic are made. The data is used to draw some conclusions about the state-of-the-art of the field.*

Key words: *neural network, scientific publications*

I. Мотивация на изследването

Изкуствените невронни мрежи са концепция, имитираща основните принципи на функционирането на биологичните невронни мрежи. Началото на изследванията върху изкуствени невронни мрежи е поставено през 1943 г. от Уорън МакКълок и Уолтър Питс [3]. През следващите десетилетия концепцията бележи забележително развитие, като днес при задачи като разпознаване на образи и разпознаване на реч някои имплементации на невронни модели постигат забележителни резултати. Динамиката на развитието на невронните мрежи е голяма в последните три десетилетия, затова нелеката задача за разпознаването на тенденции и систематизирането на постижения в областта е крайно необходима за всяко научно изследване.

II. Цел и постановка на изследването

Целта на настоящото изследване е да открие акцентите в научната продукция от последните години, което от своя страна може да послужи като основа за бъдещи по-задълбочени и по-тясно специализирани анализи. Задачи на изследването са да се избере количествена мярка за обособяване на тези акценти, оценка на публикациите според избраната мярка и анализ на получените резултати. Избраната мярка е брой публикации, съдържащи определени термини от областта на невронните мрежи. Допълнителна метрика е рейтинг на академични издания с насоченост невронни мрежи, използвани като филтриращ критерий при някои търсения с голям брой резултати.

Периодът на провеждане на изследването е 16.03.2016-31.05.2016г. За краткост, занапред в публикацията термините „невронни мрежи” и „изкуствени невронни мрежи” са използвани еквивалентно. Тази практика е често използвана в публикациите, което е причина като контролна фраза да бъде използвана „neural network”, без уточнението „artificial”. Използваните фрази за търсене съдържат ключовата фраза, а изключенията са посочени изрично. В таблиците изписването на контролната фраза е умишлено пропуснато за прегледност на резултатите. Ключовите фрази, използвани в търсенето, са подредени в 2 категории – термини, обозначаващи парадигми на невронни мрежи, и термини, описващи определени аспекти на анализа на невронни мрежи. Използваните фрази от първата категория са „quantum”, „fractional-order”, „Hopfield”, „multilayer perceptron”, „self-organizing”, „fuzzy”, „delay”, „radial basis function”, „cellular”, „stochastic”, „feedforward”, „echo state”, „recurrent”, „associative memory”, „chaotic”, „impulsive”, „spiking”, „instantaneously trained”, „deep”, „restricted Boltzman machine”. Фразите от втората група са „training”, „synchronization”, „stability”, „regression”, „batch learning”, “online learning”, „reinforcement learning”, „competitive learning”, „overfitting”, „hidden markov model”, „gradient descent”, „delta rule”, „convergence”, „backpropagation”, „local minimum problem”, „cross-validation”. Като референтни данни са взети пред вид тези от базата данни Science Direct. В следващите таблици са систематизирани данните за период от 16 години (2000-2015) и данни от 2016, за допълнително потвърждаване на откритите тенденции. Не всички получени данни са представени в публикацията поради големия им обем.

III. Изследване

В таблици 1-3 са систематизирани резултатите от търсенето на избраните термини, обозначаващи парадигми на невронни мрежи, в базата данни Science Direct.

Таблица 1.

година	Neural network	Quantum	Fractional order	Hopfield	Delay	Impulsive
2016	8510	285	396	122	2480	279
2015	**19544**	**668**	**799**	260	**5427**	**550**
2014	16579	562	668	228	4680	423
2012	14285	465	494	233	3907	332
2010	11703	367	348	190	3298	264
2008	11049	439	320	246	3251	254
2006	9813	413	289	232	2671	168

Таблица 2.

година	Chaotic	MLP	AM	Recurrent	Fuzzy	Feedforward
2016	361	350	386	829	1606	1148
2015	**784**	**803**	**951**	**1700**	**3416**	**2491**
2014	614	687	825	1522	2766	2040
2012	534	570	722	1262	2380	1805
2010	421	459	633	1005	1698	1401
2008	433	428	662	1052	1627	1288
2006	357	388	535	959	1413	1144

Таблица 3.

година	RBF	Spiking	Self-organized	Echo state	Stochastic	Deep	RBM	IT
2016	914	684	1222	591	1148	2091	92	50
2015	**1999**	**1668**	**2774**	**1247**	**2638**	**3962**	**113**	**102**
2014	1576	1404	2140	1038	2141	3314	71	107
2012	1310	1185	1930	888	1625	2614	16	75
2010	1046	1041	1456	679	1312	2037	23	66
2008	920	987	1451	510	1284	1803	29	56
2006	723	820	1120	424	1153	1633	18	49

Петте парадигми с най-голямо увеличение на броя споменавания публикации за периода 2000-2015 са „restricted Boltzman machine” (1614.3%), „echo state” (997.6%), „fractional-order” (719.8%), „radial basis function” (569.5%), „stochastic” (568.5%). Петте фрази с най-голям относителен дял от общия брой публикации по темата през 2015 са „quantum” (34.2%), „delay” (27.8%), „cellular” (24.1%), „deep” 20.3%), „fuzzy” (17.5%). Сборът е по-голям от 100%, защото има припокриване на споменаванията в статиите.

След анализ на получените от Science Direct резултати, се забелязва, че невронните мрежи са тема с непрекъснато растяща популярност през последните 16 години, като растежът на броя публикации, излизащи на година, е 402% за целия изследван период; най-голям ръст на публикациите се наблюдава при фразите restricted Boltzman machine, echo state, fractional-order, radial basis function, stochastic; най-голям относителен дял на парадигмите имат quantum, delay, cellular, deep, fuzzy; от разглежданите концепции единствено мрежите на Хопфийлд имат пик на споменаването преди 2015 година (през 2009), макар че и при тази концепция се наблюдава възраждане на интереса в последните години. От петте най-популярни концепции сред разглежданите, единствено при клетъчните невронни мрежи има спад на относителния дял спрямо общия брой публикации, а най-голям ръст има при квантовите невронни мрежи; при почти всички теми се наблюдава спад през 2010 г. спрямо 2009 г, при някой концепции спадът и възстановяването са изместени с година с изключение единствено на невронните мрежи от дробен ред, незабавно обучените и тези с exo състояние; въпреки спада, се наблюдава възстановяване и растеж през следващите години при всички концепции. Наблюдаваните тенденции показват индикации за запазване през 2016 г.

В таблица 4 са представени резултатите от търсенето на термини, свързани с някои аспекти на анализа на невронните мрежи. Търсенето е отново в Science Direct.

Таблица 4.

година	regression	stability	Fractional order	synchronization	training
2016	2591	2330	1649	658	4178
2015	**5743**	**4654**	**3481**	**1397**	**9169**
2014	4822	3979	3027	1156	7582
2012	3882	3144	2522	911	6367
2010	2910	2459	2053	805	4980
2008	2593	2473	1946	685	4798
2006	2134	2170	1843	605	4037

Таблица 5.

Regression	Online learning	Synchronization	Stability	Training
668.6%	594.1%	550%	470.6%	431.5%

В таблица 6 са представени резултатите за споменаванията на софтуерни продукти за симулация на невронни мрежи в базата данни на Science Direct.

Таблица 6.

година	MATLAB	mathematica	SNNS	Neural Lab	PDP++	PMLL
2016	377	62	6	2365	47	18
2015	1052	35	20	874	43	9
2000	216	11	13	384	25	2

Резултатите от справката в Science Direct индикират, че най-изследваната тема във връзка с невронните мрежи е обучението им („training”). Наблюдава се значителен ръст в публикациите, където невронните мрежи се анализират като техники за регресия. При популярните софтуерни продукти за работа с невронни мрежи се забелязва спад на интереса към MATLAB, за сметка на увеличение на интереса към Neural Lab.

Следващото търсене е в Scopus, библиографска база данни, съдържаща цитати от статии. Покрива близо 22 000 от 5000 автора. Собственост на Elsevier. Изследването е направено със същите ключови термини като това в Science Direct, но само резултати с двуцифрен брой споменавания са представени. Поради малкия брой публикации, изследването в Scopus е частично и има само ориентировъчна цел. Резултатите са посочени в таблица 7.

Таблица 7.

stochastic	fuzzy	quantum	cellular	fractional order	delay
35	46	20	52	125	31

Най-много споменавания на невронни мрежи се наблюдават в области като компютърни науки, математика, невронауки и инженерство, а най-малко в психология, икономика и бизнес. Най-много публикации има при фразите fractional-order neural network, cellular neural network, fuzzy neural network, stochastic neural network, delay neural network.

За нуждите на следващото търсене е направена справка за научни издания с насоченост компютърни науки. За справката са използвани метриките impact factor и SJR. По-долу е посочен списък с издания на тема компютърни науки с висок impact factor (по-голям от 2) за 2014 г., подредени низходящо.

IEEE Transactions on Fuzzy Systems	8.746
IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence	5.781
Proceeding of the IEEE	4.934
Artificial Intelligence	3.371
Neural Networks	2.708
Evolutionary Computation	2.366
Neurocomputing	2.083

Следващият списък е на издания с висок SJR за 2014 г.

Foundations and Trends in machine learning	9.855
IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence	8.741
Molecular Systems Biology	8.571
ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology	5.452
IEEE Transactions on neural networks and learning systems	3.323

Изданията от тази справка са използвани при изследването чрез Google Scholar. Поради големия брой индексирани публикации от търсачката, приложен филтър по критерий издания дава по-надеждна информация. Резултатите от търсенето на термини са в таблици 8 -12.

Таблица 8 – „Neurocomputing”

година	Neural network	Fractional order	Delay	Deep	Fuzzy	Quantum
2015	**716**	**100**	**291**	**115**	**359**	**40**
2007	218	17	79	14	104	11

Таблица 9 – „IEEE Transactions on neural networks and learning systems”

година	Neural network	Fractional order	Delay	Deep	Fuzzy	Quantum
2016	12	3	0	16	7	80
2012	119	10	4	58	53	15

Таблица 10 – „Artificial Intelligence”

година	Neural network	Quantum	Fuzzy	Delay	Fractional order
2015	707	**39**	317	101	64
2007	621	20	233	108	46

Таблица 11 – „Neural Networks”

година	Neural network	Quantum	Fuzzy	Delay	Fractional order
2015	819	**53**	247	261	**105**
2007	**1190**	20	**314**	**285**	77

Таблица 12 – Мултидисциплинарни издания

издание	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006
Nature	188	**426**	289	261	245	193	185	281	197	174	169
Science	1230	6560	7050	9290	**11800**	8520	7400	6970	6200	5410	4440

При всички издания се наблюдава увеличение в броя публикации, излизащи на година. Най-популярният вид невронни мрежи според броят цитирания е размити невронни мрежи (в 4 издания), следвани от тези със закъснения (в 2 от изданията) и дълбоки невронни мрежи (в 2 от изданията). Наблюдава се тенденцията за временен спад в публикациите през 2010 спрямо 2009 година, с изключение на изданието Proceedings of IEEE. Въпреки че квантовите невронни мрежи представляват незначителен дял от общия брой публикации, се наблюдава ръст на интереса към тази концепция. Същото важи и за невронните мрежи от дробен ред. При мултидисциплинарните издания се наблюдава ръст на публикациите по темата за последните 10 години, макар пикът по темата да е в началото на настоящото десетилетие. Изданията с най-много споменавания на фразата са изданията Artificial Intelligence, Neurocomputing, Neural Networks.

Mendeley е програма за споделяне и менажиране на научни материали, създадена през август 2008 година. В следващите редове са поместени резултатите от търсенето на термините, свързани с анализа на невронни мрежи, както и комбинирането на контролната фраза с фрази, свързани с приложните области на използване на невронни мрежи. Изследването на контролната фраза отчита общо 103130 налични публикации, за 2015 - 4837, за 2006 – 5300. Останалите резултати са в таблици 13-15.

Таблица 13

character recognition	image recognition	ecology	signal processing	classification
533	419	479	3922	17384
19	45	13	135	887
11	12	34	198	863

Таблица 14

agriculture	medicine	time series	routing	knowledge discovery	artificial intelligence
603	2675	3972	431	405	6896
38	130	197	14	22	304
28	174	191	17	30	393

Таблица 15

regression	stability	training	synchronization	stability
9515	4337	20373	825	715
549	217	1045	43	72
464	255	941	26	25

общо
2015
2000

Наблюдава се намаление на броя статии по тема „невронни мрежи” в базата данни Mendeley за последните 10 години. Сред ключовите думи, свързани с приложенията на невронните мрежи, най-популярните са classification, artificial intelligence, time series, signal processing, medicine, decision making, agriculture, character recognition, ecology, image recognition. Най-популярните парадигми невронни мрежи, установени при предишните изследвания – със закъснения, размити, дълбоки – и тук имат голям брой споменавания, като изключение правят квантовите невронни мрежи. Увеличение на споменаванията се наблюдава при ключовите думи „classification”, „supervised learning”, „unsupervised learning”, „regression”, „stability”, „training”, „synchronization”, “fractional-order stability”. Контролираното обучение (supervised learning) е по-популярно от неконтролираното.

arXiv е хранилище за научни материали с мултидисциплинарна насоченост, стартирало през 1991, с над 1 милион статии към 2014. Таблица 16 обобщава резултатите от търсенето в arXiv.

Таблица 16

година	Neural network	delay	deep	training	regression	stability	supervised learning	un-supervised learning
2015	**1000**	**20**	**611**	**601**	**67**	**33**	**106**	**76**
2006	98	2	2	5	0	4	1	1

Наблюдава се значителен ръст на публикациите по темата (над 10 пъти). Дълбоките невронни мрежи се открояват като доминираща фраза (споменавания в над 50% от общия брой публикации) и отбелязват най-голям ръст за последните 10 години (над 300 пъти). Най-споменаваният аспект на невронните мрежи е обучението им. При всички ключови думи има ръст на споменаванията. Контролираното обучение и тук доминира.

Интерфейсът на търсачката Springer Link позволява преглед на резултатите по тематични области и видове публикации, затова освен резултатите за парадигми на невронни мрежи (таблици 17-18), са приложени и резултати по теми и видове научни трудове (таблица 19). Публикациите, съдържащи контролната фраза са общо 174 840.

Таблица 17 – общо публикации

Hopfield	Delay	Impulsive	Quantum	AM	Kohonen	Fuzzy	FO	FF	Stochastic	Deep
2194	1765	78	128	396	496	3718	23	6321	528	796

Таблица 18 – публикации по приложни области и парадигми

Hopfield	Delay	Impulsive	Quantum	AM	Kohonen	Fuzzy	FO	FF	Stochastic	Deep	област
1134	971	45	67	213	226	2 208	13	**3 244**	239	514	AI
768	621	30	x	156	122	1 242	8	**1 915**	164	211	Computer Science
632	594	29	x	113	115	933	7	**1 594**	125	397	Image processing
351	256	x	23	61	111	802	6	**1 418**	77	344	Data bases
391	270	x	x	66	74	x	x	x	x	x	Communications

Таблица 19 – общо публикации по теми

статии	журнали	книги	Компютърни науки	Инженерство	физика	медицина	биология
80 706	3	359	96 314	47 492	35 708	19 926	18 893

Петте теми, в които има най-голям интерес към невронните мрежи са компютърни науки, инженерство, физика, медицина, биология. Петте области, където се наблюдава засилен интерес към невронните мрежи са изкуствен интелект, теория на компютърните науки, обработка на изображения, бази данни и комуникации. При повечето изследвани концепции има разминаване между реда на областите, в които са популярни, и реда на областите, в които е популярна ключовата фраза т.е. различните парадигми имат различен фокус на приложенията. При квантовите невронни мрежи има споменавания основно във връзка с бази данни и изкуствен интелект. Мрежите на Хопфийлд са най-популярни в област комуникации. Дълбоките невронни мрежи, като понятие от практиката, не са концепция с голяма популярност сред теоретиците на компютърните науки. В изследването са обхванати и математически техники за анализ на невронни мрежи, както и техники за машинно обучение. Търсенето е в

Science Direct. Четирите най-популярни техники за машинно обучение са „Instance-based learning” (6826), „k-means” (6576), „Support vector machine” (6495), „Neural network” (4554). Невронните мрежи са сред петте най-споменавани техники за машинно обучение от изследваните. При дълбокото обучение се наблюдава най-голям ръст (74 пъти) на споменаванията в сравнение с другите видове машинно обучение, като най-значим е скокът през 2014 г. При всички термини, свързани с невронни мрежи, се наблюдава стабилен ръст на споменаванията с пик през 2015 г.

IV. Заключение

В почти всички изследвани бази данни и издания се наблюдава ръст на публикациите на тема невронни мрежи. Наблюдава се спад в броя публикации по темата през периода 2009-2010, но в последните години е налице възстановяване. Сред най-популярните видове парадигми на невронни мрежи са тези със закъснения, размити и дълбоки. Други популярни видове са клетъчни и квантови. Сред изследваните видове невронни мрежи квантовите и тези от дробен ред се радват на най-голям ръст. Най-разглежданите аспекти на невронните мрежи са обучението им, синхронизацията, стабилността и употребата им като техники за регресия. Невронните мрежи имат широко приложение в области като изкуствен интелект, медицина, биология, инженерство, физика, математика, компютърни науки. Често се използват като техники за обработка на сигнали, класифициране, разпознаване на образи и символи, регресия, работа с бази данни, комуникации. Контролираното обучение се споменава по-често от неконтролираното. Онлайн обучението е сред най-популярните техники. Издания с висок рейтинг, при които има силен интерес към невронните мрежи са Artificial Intelligence, Neurocomputing, Neural Networks. В мултидисциплинарни издания също има интерес към темата. Популярни инструменти за симулация на невронни мрежи са MATLAB и Neural Lab.

Освен оценка чрез използваните метрики, в изследването беше направен и фрагментарен преглед на публикации от последните години. При прегледа бяха забелязани иновативни идеи, които имат потенциал да се превърнат в бъдещи направления на интерес. Екип от учени от Google разработват невронна мрежа, способна на създаване на изображение на базата на придобито обучение. Демонстрираната способност е сходна с човешкото въображение за генериране на образи във въображението. Моделът е имплементиран чрез уеб система под името DeepDream [1], която има демонстрационна цел и може да се използва за създаване на дигитално графично изкуство. Друга иновативна идея е използването на еволюция в материали за адресиране на проблеми, типично адресирани от невронни мрежи. Група учени предлагат архитектура за решаване на проблеми на класификацията, за пръв път използвайки еволюция в материали за подобен род проблеми [2]. В друга публикация от 2013 е предложена невронна мрежа с емоции [4].

Литература

1. Gregor K., Danihelka I., Graves A., etc., DRAW: A Recurrent Neural Network For Image Generation
2. Miller J. F., Harding S. L., etc., Evolution-In-Materio: Solving Machine Learning Classification Problems Using Materials, University of York, Norwegian University of Science and Technology, Durham University, 2014
3. Rojas, R.; Neural Networks. A systematic introduction., 1996
4. Thenius R., Zahadat, P., Schmickl T., EMANN a model of emotions in artificial neural network, 2013
5. Попчев И., М.Георгиева, Наукометричен анализ в областта на BigData, Научна конференция с международно участие „Хоризонти в развитието на човешките ресурси и знанието, БСУ, 2015, стр. 469 – 476.