

А.В.Лобода, к.ф.-м.н., Н.Г.Сербов, к.г.н., А.А.Свинаренко, к.ф.-м.н., В.В.Буяджи
Одесский государственный экологический университет

ДИНАМИКА МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ФОТОННОГО ЭХА: ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ С ВХОДНЫМ COS-ПОДОБНЫМ ИМПУЛЬСОМ

Моделируется динамика многослойных нейронных сетей на основе эффекта фотонного эха и приводятся результаты компьютерных экспериментов по моделированию динамики нейросетей с входным косинус-подобным импульсом

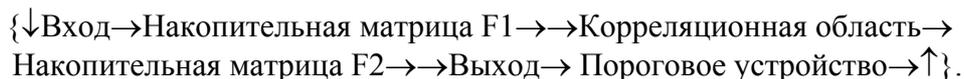
Ключевые слова: *динамика нейронных сетей, эффект фотонного эха, входной косинус-подобный импульс*

Введение. В последние годы пристальный интерес уделяется развитию новых технологий в области нано-электроники, информатики, применению новых информационных технологий в широком классе задач физики, химии, географии и т.д., в том числе, гидрометеорологии, экологии и охраны окружающей среды. Речь, прежде сего, идет о разработке новых нано-оптических систем обработки данных, создании квантовых компьютеров с оптическими цифровыми и аналоговыми процессорами. Построение оптических компьютеров, в которых носителем информации является фотонные пучки, позволяет избежать многократного преобразования электрической энергии в световую и обратно, что в результате приводит к фантастическим количественным параметрам как энергетических затрат, так и быстродействия, объема памяти и т.д.

Особое внимание в последнее десятилетие уделяется развитию новых принципов создания и реализации так называемых нейронно-сетевых компьютеров, предназначенных для обработки больших по объему массивов данных, распознавания сложных образов и т.д. Прежде всего, речь в данном случае идет о нейрокомпьютерах, т.е. физических реализациях моделей нейронных сетей. Детальные обзоры современного состояния проблематики в области создания нейрокомпьютеров и физических реализаций постоянно усовершенствуемых моделей нейронных сетей приводятся в ряде публикаций (см. в частности, [1-7]).

Настоящая работа продолжает наши исследования [3, 6-10] по моделированию динамики многослойной оптической нейронной сети на основе фотонного эха, обусловленного сверхтонкой структурой состояний двухуровневых атомных систем и формируемого возбуждающими импульсами различной формы. В [3,6] методами объектно-ориентационного программирования была выполнена программная реализация новых численных моделей многослойных нейронно-сетевых систем на основе фотонного эха и проведены компьютерные эксперименты с целью выяснения оптимально-информационных возможностей искомых систем в задачах распознавания образов и сложных сигналов. В статьях [8-10] рассмотрены различные аспекты численной оценки ошибок, возникающих при использовании нейросети для распознавания сложных паттернов, проведены серии компьютерных экспериментов по моделированию динамики многослойных оптических нейронных сетей на основе фотонного эха с использованием в качестве входного прямоугольного (по форме) импульсов. В данной статье мы приведем результаты компьютерных экспериментов по моделированию динамики многослойных нейросетей с использованием в качестве входного косинус-подобного импульса.

Численная реализация нейросетей на основе фотонного эха. Детальное изложение моделей численной реализации оптических нейронных сетей на основе фотонного эха приведено в ряде предыдущих публикаций, в частности, [3, 6-11]. Поэтому ниже мы остановимся кратко лишь на принципиальных аспектах. Как обычно, в качестве базового подхода к реализации оптической нейронной сети с хэббовским правилом обучения матрицы связей мы используем схему внутреннего произведения [3]. Согласно [3], принципиальная оптическая схема для обработки последовательности образов ξ^1, \dots, ξ^p имеет следующий вид



Как обычно, первый импульс имеет амплитуду равную единице на всей плоскости среды. Второй импульс определяет векторы памяти, поступающие в виде вертикальных столбцов и обеспечивающие накопление в среде матриц памяти $F_1 = F_2$ размером $(N \cdot p)$. Третий импульс, амплитуда которого определяется распознаваемым одномерным образом, поступает на вход системы и равномерно распределяется по среде в горизонтальном направлении. В результате возникают стимулированные эхо-сигналы, которые собираются оптически в горизонтально расположенный одномерный массив в корреляционной области. Первоначально реализуется этап вычисления внутренних произведений между входным вектором и векторами памяти. При этом выражение для амплитуды сигнала стимулированного фотонного эха

$$u(m) \sim \sum_j \xi_j^m \xi_j^{in}.$$

На следующем этапе внутренние произведения взвешивают накопленные в матрице F2 соответствующие векторы памяти ξ^1, \dots, ξ^p). Эта операция также приводит к возникновению сигналов стимулированного эха, которые далее суммируются, приводя к одномерному распределению с амплитудой

$$s_i \sim \sum_m u(m) \xi_{ii}^m = \sum_m (\xi_i^m) \sum_j \xi_j^m \xi_j^{in}.$$

Последнее соотношение, пороговое преобразование и обратная связь определяют динамику нейросети типа Хопфилда с хэббовской матрицей связи. С целью учета эффекта запаздывания в динамику сети включаются переменные запаздывания

$$\xi_i(n+1) = f\left[\sum_{j=1}^N \sum_{l=0}^{Q_k-1} J_{ij}^l \xi_j(n-l)\right],$$

где матрицы связи (соответствующие переменным запаздывания) имеют вид

$$J_{ij}^l = \sum_{k=1}^s \sum_{m=1}^{Q_k-l} \xi_i^{k, \mu+\lambda-1} \xi_j^{k, m} \dots \text{and} \dots \xi_j^{k, mk+1} = \xi_j^{k, l}.$$

Здесь s – число цепочек в сети, Q_k – число образов в k -ой цепочке.

С целью получения возможностей моделирования инвариантного распознавания образов и соответственно большей информационной емкости мы впервые ниже использовали нейросети высших порядков. В [3] была принципиально описана соответствующая схема. Фактически, речь идет о том, что вместо линейных по s выражений в правилах преобразования образов и вычисления матриц участвуют суммы нелинейных выражений следующего вида

$$a_m^{out} = \text{sgn}\left(\sum_{j_1, j_2, \dots, j_n} W_{mj_1, \dots, j_n} a_m^{in} a_{j_1}^{in} \dots a_{j_n}^{in}\right) \quad 1 < j_1, j_2, \dots, j_n < N, \quad 1 < m < N_o.$$

Здесь a^{in} – входной образ, a^{out} – выходной образ; $j=1,2,\dots, N_o$; W – сила связи между нейронами с номерами m, j_1, \dots, j_n . Используемый в компьютерных экспериментах пакет программ численного моделирования динамики оптической нейронной сети (на основе фотонного эха) NNW31-M описан детально в [3,6].

Результаты компьютерных расчетов и выводы. Нами на основе разработанного ранее пакета программ численного моделирования динамики оптической нейронной сети (со следующими ключевыми характеристиками: многослойность, возможность введения обучения, обратной связи и контролируемых оптических шумов [3,6]) выполнен компьютерный эксперимент по моделированию динамики 5-слойной нейросети с входным косинус-подобным импульсом. В данном расчете апробирована 5-слойная нейронная сеть (параметры сети: число слоев $N=5$, число образов $p=640$). В качестве нейронной функции использована функция вида $f(x) = 1/[1 + \exp(-\delta x)]$. Остальные параметры указаны в [6-11]. На рис.1 приведены результаты работы нейронной сети, в частности, результат компьютерного эксперимента по моделированию динамики 5-слойной нейросети с входным косинус-подобным импульсом.

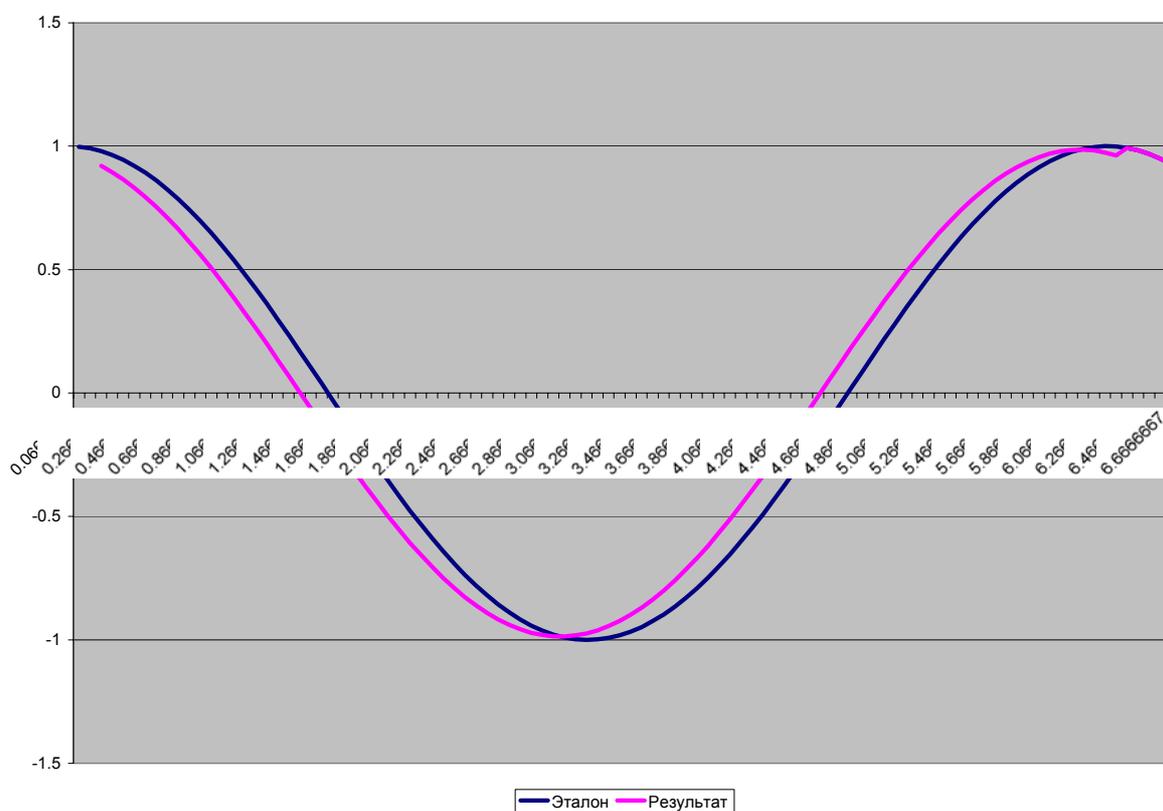


Рис.1 - Результаты компьютерных экспериментов по моделированию динамики многослойных нейронных сетей с входным прямоугольным импульсом.

Результаты проведенного расчета позволяют подтвердить общий вывод и данного и аналогичных других компьютерных экспериментов [5-11] об относительно высоком качестве обработки пятислойными оптическими нейронно-сетевыми системами входных сигналов самой различной формы и сложности.

В заключение подчеркнем, что рассмотренная нейронно-сетевая технология с успехом в последнее время используется для решения различных классов задач

моделирования и обработки данных в области гидрометеорологии и гидроэкологии. В качестве примера упомянем задачу об акустических морских и океанских волноводах, моделирование глобального цикла углекислого газа в системе «атмосфера-океан», задачу о долговременных изменениях фаз антарктического колебания и их связи с содержанием озона в южном полушарии, проблему выявления энергообмена в смеси $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-H}_2\text{O}$ атмосферных газов при прохождении через атмосферу лазерного излучения в рамках 3-модовой кинетической модели для разных параметров лазерных импульсов, группу физических 3D моделей гидрологического цикла, а также задачи анализа данных колебаний внутри сезонных расходов и временной эволюции флуктуаций загрязняющих веществ (ЗВ) в приустьевых зонах ряда рек и северо-западной части Черного моря и т.д. [12-16].

Список литературы

1. *Neural Computers*, Eds. R.Eckmiller, C.Malsburg.- Berlin: Springer, 2007.-520P.
2. *Neural Networks for Computing*, Ed. J.Denker.- New York: AIP Publ., 2007.-640P.
3. Глушков А.В., Лобода А.В., Свиаренко А.А., Теория нейронных сетей на основе фотонного эха и их прорамная реализация.-Одесса: ТЕС. 2003.-200с
4. Манькин Э.А., Самарцев В.В., Оптическая эхо-спектроскопия.-М.:Наука, 1994.-280С.
5. Манькин Э.А., Сурина И.И., Нейронные сети и их оптические воплощения.-М.:РНИЦ "Курчатовский Институт", 1993.-180с.
6. *Glushkov A.V., Loboda A.V., Program realization of models of the optical neural networks* Препр./МОНУ.НДІ фізики Одеського національного університету ім.І.І.Мечникова; Ph-L-3-01.-Одесса:2001.- 18с.
7. *Glushkov A.V., Loboda A.V., Khokhlov V.N., Prepelitsa G.P. ,Numerical modelling a populations differences dynamics of resonant levels of atoms in a nonrectangular form laser pulse: optical bistability effect// Laser and Fiber-Optical Networks Modeling (IEEE Serie).- 2006.-P. 428-430.*
8. *Serbov N.G., Svinarenko A.A., Wavelet and multifractal analysis of oscillations in a grid of couled autogenerators//Photoelectronics.-2007.-N16.-P.53-56.*
9. *Лобода А.В., Свиаренко А.А., Иваницкая Л.А., Динамика многослойной нейронной сети на основе фотонного эха: численная реализация// Вестник Одесск.гос.эколог.ун-та.-2006.-N3.-С.256-260.*
10. *Лобода А.В., Буяджи В.В., Динамика многослойной оптической нейронной сети: численная реализация для сложных паттернов// Вестник Одесск.гос.эколог.ун-та.-2007.-N4.-С.363-367.*
11. *Лобода А.В., Сербов Н.Г., Свиаренко А.А., Буяджи В.В., Динамика многослойной нейронной сети на основе фотонного эха: численная реализация с входным прямоугольным импульсом// Вестник Одесск.гос.эколог.ун-та.-2006.-N5.-С.351-354.*
12. *Glushkov A.V., Serbov N.G., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V., Dynamics of multi-layers neural networks on basis of photon echo: Effects of chaos and stochastic resonance// Proc.of the International Conference on Statistical Physics.-Crete (Greece).-2008.-P.26.*
13. *Glushkov A.V., Svinarenko A.A., Khetselius O.Yu., Serbov N.G., The sea and ocean 3D acoustic waveguide: stochastic modeling and chaos phenomena// Proc.of the Chaotic modeling and Simulation International Conference (CHAOS2008).-Chania Crete (Greece).-2008.- P.25.*

14. *Glushkov A.V., Serbov N.G., Khokhlov V.N., Loboda N.S., Svinarenko A.A.*, The ocean quasi-homogeneous layer model and global cycle of carbon dioxide in system of atmosphere-ocean// Proc. of the 37th COSPAR Scientific Assembly-2008.-Monreal (Canada).-2008.-P. A21-0019.
15. *Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Loboda N.S., Serbov N.G., Zhurbenko K.*, Signatures of low-dimensional chaos in hourly water level measurements at coastal site of Mariupol, Ukraine// Stoch Environ Res Risk Assess (Springer).-2008.-Vol.22,N6.-P.777-788.
16. *Khetselius O.Yu., Serbov N.G., Solonko N.V.*, Modelling carbon dioxide cycle in system of atmosphere-ocean and spatio-temporal pattern formation and chaos in multi-level ecological models as applied to coupled plankton-fish dynamics// Proc. of the International Conference on Ecological Modelling (ICESM'07).- Trieste (Italy).-2007.-P. A-00182.
17. *Глушков А.В., Хохлов В.Н., Сербов Н.Г., Балан А.К., Бунякова Ю.Я., Баланюк Е.П.*, Низкоразмерный хаос во временных рядах концентраций загрязняющих веществ в атмосфере и гидросфере// Вестник Одесск.гос.эколог.ун-та.-2007.-N4.-С.337-348.

Динаміка багатосарової нейронної мережі на основі фотонної луни: чисельна реалізація з вхідним cos-подібним імпульсом. Лобода А.В., Сербов М.Г., Свинаренко А.А., Буяджи В.В.

Моделюється динаміка багатосарової нейромережі на основі фотонної луни і наводяться результати комп'ютерних експериментів по моделюванню динаміки нейромережі з вхідним косінус-подібним імпульсом.

Ключові слова: динаміка нейронних мереж, ефект фотонної луни, вхідний косінус-подібний імпульс.

Dynamics of multi-layers neural networks on basis of photon echo: numerical realization with input cos-like pulse. Loboda A.V., Serbov N.G., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V.

A dynamics of the multi-layers neural networks on the basis of photon echo is studied. The results of the computer experiments on dynamics of neural networks with input rectangular pulse are presented.

Keywords: dynamics, network, photon echo effect, cos-like pulse.