



РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на
образователна и научна степен „ДОКТОР”

Автор на дисертационния труд: **маг. Стефан Алипиев Цоков**

Тема на дисертационния труд: **„Оптимизиране на архитектури на
невронни мрежи чрез еволюционни алгоритми ”**

Рецензент: доц. д-р Георги Цочев

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем. Съдържание на дисертационния труд.

Представеният ми за рецензиране дисертационен труд е предназначен за придобиване на образователната и научна степен - Доктор.

Темата е актуална и значима в научно-приложен и приложен аспект и е свързана с проблемите при мрежовата и информационна сигурност и по конкретно при системи за откриване на прониквания и превенция. Актуалността на разработвания в дисертацията проблем се потвърждава от засиления интерес към анализа и проблемите които са отбелязани в дисертационния труд.

Представеният дисертационен труд е насочен към изследване на актуална и интензивно развиваща се област, свързана с автоматизираното проектиране и оптимизиране на архитектури на невронни мрежи чрез еволюционни алгоритми и по-специално генетични алгоритми. Актуалността на разглеждания проблем произтича от нарастващата роля на методите за дълбоко обучение в широк кръг приложения и от факта, че ръчното проектиране на ефективни архитектури е сложно, времеемко и изисква значителна експертна намеса и изчислителни ресурси. Това обуславя необходимостта от прилагане на интелигентни метаевристични методи, които да позволяват автоматизирано търсене в големи пространства от архитектури, постепенно усложняване на решенията и адаптивна промяна на структурата и параметрите на мрежите. В този контекст изследването, насочено към разработване на еволюционна стратегия за оптимизиране на архитектури на невронни мрежи и нейното приложение за управление на автономни агенти, разпознаване на човешки дейности и прогнозиране на замърсяването на въздуха, представлява значима научна и приложна задача с висока практическа стойност.

2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал

Дисертационният труд демонстрира много добра степен на познаване на съвременното състояние на изследвания проблем. Авторът е извършил

задълбочен и систематичен литературен обзор на основните концепции, модели и подходи в областта на невронните мрежи, дълбокото обучение и еволюционните алгоритми за оптимизация. Анализирани са както класическите методи за проектиране и обучение на невронни мрежи, така и съвременни метаевристични подходи за автоматизирано търсене на оптимални архитектури, като са отчетени техните предимства, ограничения и области на приложимост.

Материал е структуриран логично и целенасочено, като авторът умело свързва теоретичните постановки с конкретните приложни задачи – управление на автономни агенти, разпознаване на човешки дейности и прогнозиране на замърсяване на въздуха. Особено положително впечатление прави критичният анализ на съществуващите решения за автоматизация на дизайна на невронно-мрежови архитектури, въз основа на който са формулирани ясно изследователските хипотези и мотивацията за разработване на собствена еволюционна стратегия.

Налице е и творческа интерпретация на разгледаните научни източници, изразяваща се не само в обобщаване на известни резултати, но и в тяхното адаптиране и надграждане спрямо целите на дисертационния труд. Това показва самостоятелно научно мислене и способност за извличане на нови идеи от съществуващата литература, което създава стабилна теоретична основа за представените оригинални изследователски резултати.

3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите приноси:

Избраната методика на изследване е в пълно съответствие с целта и задачите на дисертационния труд. Прилагането на теоретико-аналитични, моделиращи и експериментални методи позволява обосновано разработване и валидиране на предложената еволюционна стратегия за оптимизация на архитектури на невронни мрежи. Реализацията на методиката в различни приложни области и експерименталната ѝ проверка с реални данни потвърждават постигнатите научни и научно-приложни приноси.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд.

Представеният дисертационен труд е структуриран в увод, пет глави, заключение, списък с приноси, списък с публикации, участие в научноизследователски проекти, списък с фигури, списък с таблици, списък с използвани съкращения, библиографска справка и декларация за оригиналност.

В първа глава е представен систематичен обзор на невронно-мрежовите модели и обучението им, формулирани са основи на оптимизационните задачи, метаевристики и еволюционни изчисления, които служат като теоретична рамка на изследването.

Втора глава разглежда оптимизирането на архитектури на невронни мрежи и съвременните подходи, като формулира и авторска еволюционна стратегия и я позиционира спрямо алтернативи.

Трета глава демонстрира еволюционен подход за управление на автономни агенти в симулирана среда, включително дефиниране на представянния, фитнес и анализ на конвергенцията.

Четвърта глава е посветена на еволюционен дизайн на 1D-CNN архитектури за разпознаване на човешки дейности върху популярни набори данни, с детайлен метриков и конфузионен анализ.

Пета глава разработва пространствено-темпорален хибриден модел (CNN+LSTM) за прогнозиране на концентрации на PM2.5 върху Beijing Multi-Site Air-Quality Dataset, с експерименти за избор на входове, ансамбли и пространствена информация.

5. Научни, научно-приложни и приложни приноси по дисертационния труд

Приемам дефинираните 11 на брой претенции и приноси като вярно отразяващи резултатите, постигнати от докторанта. Приносите, получени в резултат на дисертационните изследвания могат да бъдат обобщени както следва:

- научни приноси:

Предложен е генетичен алгоритъм за оптимизация на архитектурата на НМ, който постепенно комплексфицира решенията при нужда, използва модифициран оператор за кръстосване за решения с вариращи дължини и адаптивна мутация с три стратегии за промени в архитектурите на НМ.

- научно-приложни приноси:

Предложен е генетичен алгоритъм за еволюционно базиран дизайн на конволюционни НМ за разпознаване на човешка дейност с използване на модифицирано кръстосване за решения с различна дължина и адаптивна мутация с три равновероятни стратегии за модифициране на слой, добавяне на слой и премахване на слой от архитектурата на НМ.

Предложен е метод за автоматична оптимизация на архитектурата на конволюционни НМ за разпознаване на човешки дейности, при който еволюционния процес започва от прости архитектури, които постепенно могат да бъдат усложнявани чрез добавянето на нови слоеве.

Предложен е хибриден дълбок пространствено-темпорален модел базиран на конволюционна НМ и LSTM мрежа за прогнозиране на замърсяването на въздуха с автоматичен подбор на входни променливи и оптимизация на хиперпараметрите на модела.

Предложена е хибридна стратегия за запълване на липсващи стойности във времеви редове, която е приложена за обучение на хибридният дълбок пространствено-темпорален модел за прогнозиране на замърсяване на въздуха.

Предложен е подход за включване на еволюирани архитектури за хибриден дълбок пространствено-темпорален модел за прогнозиране на замърсяването на въздуха в различни ансамбли, състоящи се от модели с еднакви архитектури и модели с различни архитектури.

Предложена е стратегия за подбор на входни променливи при прогнозиране на замърсяването на въздух с хибриден дълбок пространствено-темпорален модел.

Предложена е подход за включване на пространствена информация при прогнозиране на замърсяването на въздух с хибриден дълбок пространствено-темпорален модел.

- приложни приноси:

Разработен е прототип за експериментално оценяване на предложената биологично вдъхновена индиректна схема на кодиране за еволюиране на НМ за управление на автономни агенти върху симулация на изкуствен свят, който показва, че се генерират разнообразни и комплексни архитектури със сравнително малък брой параметри спрямо други възможни подходи за еволюиране на нервна система за управление на автономни агенти.

Разработен е прототип за експериментално оценяване на предложената биологично вдъхновена индиректна схема на кодиране за еволюиране на НМ за управление на автономни агенти върху симулация на изкуствен свят, който показва, че с използване на проста имплицитна фитнес функция успешно се еволюират агенти способни да разграничават различни обекти.

Разработен е прототип за експериментално оценяване на еволюционно базирания дизайн на конволюционни НМ за разпознаване на човешка дейност, който показва значително по-добри резултати до представянето на други дълбоки архитектури.

Разработен е прототип за експериментално оценяване на предложения хибриден дълбок пространствено-темпорален модел за прогнозиране на замърсяването на въздуха на базата на разработен прототип, който показва, че дори и при ограничени изчислителни ресурси еволюираните архитектури водят до получаване на добри и постоянни резултати.

Докторантът показва знания от различни области и умения при прилагането им в решението на инженерни проблеми, както и да ги свежда до конкретни алгоритми.

6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите.

Представеното съдържание, проведените анализи и разработените примери в рамките на дисертационния труд, показват отличното познаване на

изследваната област, в която се фокусира труда. Получените от автора резултати от дисертационното изследване са публикувани в 8 научни труда – 5 в списания и 3 в конференции. Една от статиите е публикувана в международно научно списание с IF 3.3 в Q2 на Web of Science и има 54 цитирания същата база от данни. Всичко това ми дава основание да смятам, че постигнатите резултати в дисертационния труд са направени от докторанта.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд.

Докторантът е представил 8 научни труда – 5 в списания и 3 в конференции. Една от статиите е публикувана в международно научно списание с IF 3.3 в Q2 на Web of Science и има 54 цитирания същата база от данни. Публикациите са направени в периода 2019–2022 година и покриват тематиката на представената дисертационна работа като отразяват основните постигнати резултати и приноси. Всички статии са на английски език, в съавторство с научните ръководители на докторанта.

Няма съмнение, че публикациите са основно дело на докторанта и че чрез тях той е оценен високо от научната и инженерната общност.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Наличие на постигнат пряк икономически ефект и пр. Документи, на които се основава твърдението.

Резултатите от дисертационния труд намират приложение преди всичко в научната и изследователската практика, като са отразени в публикации в рецензирани научни издания и докладвани на международни научни конференции. Разработените методи и модели за автоматизирана оптимизация на архитектури на невронни мрежи могат да бъдат използвани в изследователски и инженерни разработки в областта на изкуствения интелект, анализа на данни и интелигентните системи, включително при задачи за управление, разпознаване и прогнозиране.

Дисертантът е участвал в национални и международни научноизследователски проекти, което свидетелства за практическата значимост и приложимост на получените резултати. Към момента не са представени данни за реализиран пряк икономически ефект, но потенциалът за такъв е налице предвид възможностите за внедряване на предложените подходи в реални системи и индустриални приложения. Твърденията се основават на публикуваните научни трудове, отчетите по научноизследователските проекти и представените експериментални резултати в дисертационния труд.

9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд.

Авторефератът е оформен в 32 страници и отговаря на изискванията за изготвянето му, както и за неговото отпечатване. Основните положения на дисертационния труд са отразени точно и ясно в автореферата. Приносите на дисертационния труд са изведени, точно класифицирани и описани.

10. Мнения, препоръки и бележки.

Като цяло мнението, препоръките и бележките ми по представения ми за рецензия труд предадох писмено на докторанта, които са отразени в последната версия на дисертационния труд.

Рецензентът препоръчва активна публикационна дейност и в чужбина в бъдещите изследвания на дисертанта.

11. Заключение

В заключение смятам, че работата има завършеност, съдържа оригинални решения и темата е актуална. Направените бележки и препоръки не оспорват приносите на дисертационния труд.

Считам, че изискванията на Закона за развитие на академичния състав в България и Правилника за неговото прилагане са изпълнени в представения дисертационен труд.

Давам положителна оценка за труда и предлагам на уважаемото Научно жури да присъди на маг. **Стефан Алипиев Цок** образователната и научна степен „**доктор**“ по професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника, научна специалност „Системи с изкуствен интелект“.

Дата: 23.01.2026г.

Рецензент:

/ доц. д-р Георги Цочев /

REVIEW

on a dissertation for "Doctor of Philosophy" degree

Author of the dissertation: **Stefan Alipiev Tsokov**

Dissertation topic: "***Optimization of neural network architectures through evolutionary algorithms***"

Reviewer: Assoc. prof. Georgi Tsochev, PhD

1. Relevance of the problem developed in the dissertation. Content of the dissertation.

The dissertation submitted to me for review is intended for the acquisition of the educational and scientific degree - Doctor of Philosophy.

The topic is topical and significant in scientifically applied and applied aspect and is related to the problems in network and information security, and in particular in intrusion detection and prevention systems. The relevance of the problem developed in the dissertation is confirmed by the increased interest in the analysis and the problems that are noted in the dissertation.

The presented dissertation is aimed at exploring a current and intensively developing field related to the automated design and optimization of neural network architectures through evolutionary algorithms and in particular genetic algorithms. The relevance of the problem under consideration stems from the growing role of deep learning methods in a wide range of applications and from the fact that the manual design of effective architectures is complex, time-consuming and requires significant expert intervention and computational resources. This necessitates the application of intelligent metaheuristic methods that allow automated searches in large spaces of architectures, gradual complication of decisions and adaptive change in the structure and parameters of networks. In this context, the research aimed at developing an evolutionary strategy to optimize neural network architectures and its application to control autonomous agents, recognize human activities, and predict air pollution represents a significant scientific and applied task of high practical value.

2. Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literary material

The dissertation demonstrates a very good degree of knowledge of the current state of the problem under study. The author has carried out an in-depth and systematic literature review of the main concepts, models, and approaches in the field of neural networks, deep learning, and evolutionary optimization algorithms. Both classical methods for design and training of neural networks and modern metaheuristic

approaches for automated search for optimal architectures are analyzed, taking into account their advantages, limitations and areas of application.

The material is structured logically and purposefully, and the author skillfully connects the theoretical statements with the specific applied tasks – the management of autonomous agents, the recognition of human activities and the forecasting of air pollution. A particularly positive impression is made by the critical analysis of the existing solutions for automation of the design of neural-network architectures, on the basis of which the research hypotheses and the motivation for developing their own evolutionary strategy are clearly formulated.

There is also a creative interpretation of the considered scientific sources, expressed not only in the generalization of certain results, but also in their adaptation and upgrading to the goals of the dissertation. This shows independent scientific thinking and the ability to extract new ideas from the existing literature, which creates a solid theoretical basis for the original research results presented.

3. Compliance of the chosen research methodology with the set goal and objectives of the dissertation with the achieved contributions:

The chosen research methodology is fully consistent with the purpose and objectives of the dissertation. The application of theoretical-analytical, modeling and experimental methods allows for the justified development and validation of the proposed evolutionary strategy for optimization of neural network architectures. The implementation of the methodology in various areas of application and its experimental verification with real data confirm the achieved scientific and applied scientific contributions.

4. A brief analytical description of the nature and assessment of the credibility of the material on which the contributions of the dissertation are built.

The presented dissertation is structuring into an introduction, five chapters, a conclusion, a list of contributions, a list of publications, participation in research projects, a list of figures, a list of tables, a list of abbreviations used, a bibliographic reference and a declaration of originality.

The first chapter presents a systematic overview of neural-network models and their training, formulates the foundations of optimization problems, metaheuristics and evolutionary calculations, which serve as a theoretical framework for the study.

Chapter Two examines the optimization of neural network architectures and modern approaches, formulating the author's evolutionary strategy and positioning it in relation to alternatives.

Chapter Three demonstrates an evolutionary approach to managing autonomous agents in a simulated environment, including performance definition, fitness, and convergence analysis.

Chapter Four is devoted to the evolutionary design of 1D-CNN architectures to recognize human activities on popular datasets, with detailed metric and confusion analysis.

Chapter Five develops a spatial-temporal hybrid model (CNN+LSTM) to predict PM2.5 concentrations on the Beijing Multi-Site Air-Quality Dataset, with experiments to select inputs, ensembles, and spatial information.

5. Scientific, applied and applied contributions to the dissertation

I accept the defined 11 claims and contributions as faithfully reflecting the results achieved by the PhD student. The contributions received as a result of the dissertation research can be summarized as follows:

- Scientific contributions:

A genetic algorithm for optimization of the HM architecture has been proposed, which gradually complexes the solutions as needed, uses a modified crossover operator for solutions of varying lengths, and adaptive mutation with three strategies for changes in the HM architectures.

- Scientific and applied contributions:

A genetic algorithm has been proposed for an evolutionarily based design of convolutional NMs for the recognition of human activity using modified crossbreeding for solutions of different lengths and adaptive mutation with three equally probable strategies for layer modification, addition of layer, and removal of layer from the NM architecture.

A method for automatic optimization of the architecture of convolutional NM for recognition of human activities has been proposed, in which the evolutionary process starts from simple architectures, which can gradually be complicated by the addition of new layers.

A hybrid deep spatial-temporal model based on a convolutional NM and LSTM network for air pollution forecasting with automatic selection of input variables and optimization of model hyperparameters is proposed.

A hybrid strategy for filling missing values in time series has been proposed, which has been applied to train the hybrid deep spatial-temporal model to predict air pollution.

An approach is proposed to include evolved architectures for a hybrid deep spatiotemporal model for air pollution prediction in different ensembles consisting of models with the same architectures and models with different architectures.

A strategy for selecting input variables in air pollution forecasting with a hybrid deep spatial-temporal model is proposed.

An approach to include spatial information in air pollution forecasting with a hybrid deep spatiotemporal model is proposed.

- Applied contributions:

A prototype has been developed for experimental evaluation of the proposed biologically inspired indirect coding scheme for the evolution of NM for the control of autonomous agents on a simulation of an artificial world, which shows that diverse and complex architectures with a relatively small number of parameters are generated compared to other possible approaches to the evolution of the nervous system for the control of autonomous agents.

A prototype has been developed to experimentally evaluate the proposed biologically inspired indirect coding scheme for the evolution of NM to control autonomous agents on an artificial world simulation, which shows that using a simple implicit fitness function successfully evolves agents capable of distinguishing between different objects.

A prototype has been developed to experimentally evaluate the evolution-based design of convolutional NMs for human activity recognition, which shows significantly better results than other deep architectures.

A prototype has been developed for experimental evaluation of the proposed hybrid deep spatial-temporal model for predicting air pollution based on a developed prototype, which shows that even with limited computing resources, evolved architectures lead to good and consistent results.

The PhD student demonstrates knowledge from various fields and skills in applying it to solving engineering problems, as well as reducing them to specific algorithms.

6. Assessment of the degree of personal participation of the dissertation student in the contributions.

The presented content, the analyzes carried out and the examples developed within the framework of the dissertation show the excellent knowledge of the studied area in which the work is focused. The results of the dissertation research obtained by the author have been published in 8 scientific papers – 5 in journals and 3 in conferences. One of the articles was published in an international scientific journal with IF 3.3 in Q2 of Web of Science and has 54 citations in the same database. All this gives me reason to believe that the results achieved in the dissertation were made by the doctoral student.

7. Assessment of the publications of the dissertation.

The PhD student has presented 8 scientific papers – 5 in journals and 3 in conferences. One of the articles was published in an international scientific journal with IF 3.3 in Q2 of Web of Science and has 54 citations in the same database. The publications were made in the period 2019-2022 and cover the topics of the presented dissertation, reflecting the main results and contributions. All articles are in English, co-authored with the supervisors of the PhD student.

There is no doubt that the publications are the main work of the PhD student and that through them he is highly appreciated by the scientific and engineering community.

8. Use of the results of the dissertation in scientific and social practice. Presence of a achieved direct economic effect, etc. Documents on which the allegation is based.

The results of the dissertation are applied primarily in scientific and research practice, being reflected in publications in peer-reviewed scientific journals and reported at international scientific conferences. The developed methods and models for automated optimization of neural network architectures can be used in research and engineering developments in the field of artificial intelligence, data analysis and intelligent systems, including in control, recognition and forecasting tasks.

The dissertation student has participated in national and international research projects, which testifies to the practical significance and applicability of the results obtained. At present, no data on a realized direct economic effect are presented, but the potential for such is there given the possibilities for implementing the proposed approaches in real systems and industrial applications. The statements are based on the published scientific papers, reports on research projects and the experimental results presented in the dissertation.

9. Assessment of the compliance of the abstract with the requirements for its preparation, as well as the adequacy of the reflection of the main points and contributions of the dissertation.

The abstract is formatted in 32 pages and meets the requirements for its preparation, as well as for its printing. The main provisions of the dissertation are reflected accurately and clearly in the abstract. The contributions of the dissertation are derived, accurately classified and described.

10. Opinions, recommendations and comments.

In general, I submitted my opinion, recommendations and notes on the work submitted to me for review in writing to the PhD student, which are reflected in the latest version of the dissertation.

The reviewer recommends active publication activity abroad in the future research of the dissertation.

11. Conclusion

In conclusion, I believe that the work has completion, contains original solutions and the topic is relevant. The notes and recommendations made do not dispute the contributions of the dissertation.

I believe that the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in Bulgaria and the Regulations for its implementation have been fulfilled in the presented dissertation.

I give a positive assessment of the work and propose to the esteemed Scientific Jury to award a **MSc. Stefan Alipiev Tsokov** the educational and scientific degree "

Doctor of Philosophy " in the professional field 5.3 Communication and Computer Engineering, scientific specialty " Artificial Intelligence Systems ".

Date: 23.01.2026

Reviewer:

/ Assoc. prof. Georgi Tsochev/