

Abstracts of Dissertations

Institute of Information and
Communication Technologies

BULGARIAN ACADEMY OF
SCIENCES



5 / 2022



TIME SERIES
FORECASTING WITH
ARTIFICIAL NEURAL
NETWORKS

Petar Tomov

ПРОГНОЗИРАНЕ НА
ВРЕМЕВИ РЕДОВЕ С
ИЗКУСТВЕНИ НЕВРОННИ
МРЕЖИ

Петър Томов

Автореферати на дисертации

Институт по информационни и
комуникационни технологии

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ISSN: 1314-6351

Поредицата „Автореферати на дисертации на Института по информационни и комуникационни технологии при Българската академия на науките“ представя в електронен формат автореферати на дисертации за получаване на научната степен „Доктор на науките“ или на образователната и научната степен „Доктор“, защитени в Института по информационни и комуникационни технологии при Българската академия на науките. Представените трудове отразяват нови научни и научно-приложни приноси в редица области на информационните и комуникационните технологии като Компютърни мрежи и архитектури, Паралелни алгоритми, Научни пресмятания, Лингвистично моделиране, Математически методи за обработка на сензорна информация, Информационни технологии в сигурността, Технологии за управление и обработка на знания, Грид-технологии и приложения, Оптимизация и вземане на решения, Обработка на сигнали и разпознаване на образи, Интелигентни системи, Информационни процеси и системи, Вградени интелигентни технологии, Йерархични системи, Комуникационни системи и услуги и др.

Редактори

Геннадий Агре

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: agre@iinf.bas.bg

Райна Георгиева

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: rayna@parallel.bas.bg

Даниела Борисова

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: dborissova@iit.bas.bg

Настоящото издание е обект на авторско право. Всички права са запазени при превод, разпечатване, използване на илюстрации, цитирания, разпространение, възпроизвеждане на микрофилми или по други начини, както и съхранение в бази от данни на всички или част от материалите в настоящето издание. Копирането на изданието или на част от съдържанието му е разрешено само със съгласието на авторите и/или редакторите

The series Abstracts of Dissertations of the Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences presents in an electronic format the abstracts of Doctor of Sciences and PhD dissertations defended in the Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences. The studies provide new original results in such areas of Information and Communication Technologies as Computer Networks and Architectures, Parallel Algorithms, Scientific Computations, Linguistic Modelling, Mathematical Methods for Sensor Data Processing, Information Technologies for Security, Technologies for Knowledge management and processing, Grid Technologies and Applications, Optimization and Decision Making, Signal Processing and Pattern Recognition, Information Processing and Systems, Intelligent Systems, Embedded Intelligent Technologies, Hierarchical Systems, Communication Systems and Services, etc.

Editors

Gennady Agre

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: agre@iinf.bas.bg

Rayna Georgieva

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: rayna@parallel.bas.bg

Daniela Borissova

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: dborissova@iit.bas.bg

This work is subjected to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the materials is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, re-use of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in other ways, and storage in data banks. Duplication of this work or part thereof is only permitted under the provisions of the authors and/or editor.



BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

Abstract of PhD Thesis

TIME SERIES FORECASTING WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Petar Rosenov Tomov

Supervisor: Prof. Vladimir Monov

Approved by Supervising Committee:

Prof. Milena Lazarova-Mitzeva

Prof. Kosta Boshnakov

Prof. Velislava Lyubenova

Assoc. Prof. Tatiana Atanasova

Prof. Dimitar Karastoyanov



**INSTITUTE OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

**Department of Information Processes and Decision Support
Systems**

Introduction

In everyday life, a person encounters many different time series, representing discrete random variables arranged in chronological order. Typical examples are the average daily temperatures, the quantities of fuels sold during the year, the values of the currencies on the financial markets and others. Such phenomena are observed in almost all areas of human activity and therefore they are the subject of study and forecasting.

Artificial neural networks have become extremely popular in the last five decades. Their main advantage is the ability to reproduce nonlinear dependencies using sample data. They are used as a tool for classification, image recognition and forecasting. In the most common variant, artificial neural networks are directed weight graphs. The organization is layered, with information transmitted from the input layer to the output layer. Most often, the nodes between the individual layers are fully connected, which means that each node is connected to all other nodes in the adjacent layer. The organization of the number of layers and how many nodes to have in each layer is subject to empirical determination and strongly depends on the nature of the problem. The learning process is most often with training examples (teacher training) and the goal is to achieve such an optimal value for the weights on the edges of the graph, so that the artificial neural network performs the calculations for which it is intended. Once trained, artificial neural networks are extremely fast-acting. This characteristic makes them especially desirable in many industrial technical solutions. Difficulties in using artificial neural networks are related to the time required for their training. Over the decades, many different algorithms have been developed to search for optimal weights in the network. The two main directions of algorithms are gradient (exact numerical algorithms) and heuristic (most often stochastic with introduced empirical rules). Accelerating the learning process is a major problem in the practical use of artificial neural networks.

Purpose and tasks

The aim of this dissertation is to propose hybrid algorithms for accelerating learning in artificial neural networks of the multilayer perceptron type for the purpose of time series forecasting. To achieve this goal it is necessary to perform the following tasks:

- To make an overview analysis and classification of algorithms for training of artificial neural networks of multilayer perceptron type;
- To analyze the possibility of combining different algorithms for the implementation of hybrid training of artificial neural networks of the multilayer perceptron type;
- To propose algorithms for training of artificial neural networks of multilayer perceptron type in distributed environment;
- To propose an improvement in order to reduce the training time of artificial neural networks of the multilayer perceptron type;
- To propose a software architecture for the implementation of mobile distributed forecasting calculations;
- To make program implementation of the proposed hybrid algorithms for training of artificial neural networks of multilayer perceptron type in order to prove their operability;
- To make a comparative analysis of the effectiveness of the known algorithms for training artificial neural networks of the multilayer perceptron type.

Structure of the dissertation

The dissertation is structured in an introduction, a presentation of four chapters, a conclusion, a declaration of originality of the results, a list of publications on the dissertation and a bibliography. The dissertation is in the volume of 157 pages, 68 figures and 4 tables, 134 cited literary source and 1 application.

The **introduction** clarifies the relevance of the problem and presents the

structure, object, subject, goals and objectives.

The **first chapter** provides an overview analysis and classification of widely used algorithms for training artificial neural networks. The advantages and disadvantages of exact numerical algorithms and heuristic algorithms are determined. The possibilities for training of artificial neural networks in sequential calculations, parallel calculations and calculations in a distributed environment are presented.

The **second chapter** presents the theory of algorithms in the training of artificial neural networks of the multilayer perceptron type. Modifications of some of the algorithms that are applicable in time series forecasting are proposed. The applied modifications refer to: 1) determination of weights, using a genetic algorithm using the operations - selection, crossing and mutation. A new selection operator has been proposed and analyzed, based on the creation of generations in a recursive descent procedure. The speed of the used heuristic algorithms was studied experimentally; 2) approximation of curves to multiple points - for incremental approximation of time series the equation of lines and a line of sine functions are used. An approach for calculating the coefficients of sine functions with an optimizer based on the evolution of differences and a swarm of particles is proposed; 3) training on an artificial neural network - an extensive model of training is presented, which aims to find optimal weights for a network of three-layer perceptron; 4) the activation function in artificial neural networks - an alternative to a derivative for the activation function in artificial neural networks is proposed. An essential feature of the proposed function is that it shows promising results in terms of speed and accuracy. For the purpose of numerical testing of the proposed modifications, classification according to the frequency of voting for each user and the success rate of each vote cast is required. The solution of this specific task was realized through the use of self-organizing Kohonen maps.

The **third chapter** presents a software architecture that allows the implementation of selected algorithms and proposed modifications. An object-oriented model, a relational model, communication protocols and a graphical user interface are proposed for the realization of the software architecture. All of them based on

appropriate data structures.

The **fourth chapter** presents a comparative analysis of some accurate numerical and heuristic algorithms. The performed experiments and the obtained results are described. Their productivity and total error are analyzed.

In the **conclusion** a summary of the performed researches is made. Some guidelines for future research related to the application of artificial neural networks are also provided.

Chapter 1 Forecasting time series using machine self-learning

The first chapter provides an overview of the most commonly used ways to predict time series and how machine self-learning is applied in this problem area. Making forecasts is of great importance for modern societies. Starting with the forecast for the meteorological situation and ending with forecasts for the change in prices for goods, stocks and currencies. In the case of price forecasting, the data are successfully presented in the form of a time series. Quite logically, each subsequent value should have some dependence on the previous values. Many ways to predict financial time series have been developed in recent decades, but artificial neural networks stand out as one of the most promising. Characteristic of artificial neural networks is that they are a very effective tool once trained. The learning process, on the other hand, often takes too long and requires a large amount of computing resources. One of the most widely used ways to train artificial neural networks is the backpropagation algorithm. This algorithm belongs to the group of exact numerical, gradient methods. Its weaknesses are the inability to be effectively realized in parallel calculations and its tendency to fall into local optimums without effective ways to avoid them. The error backpropagation algorithm is very well complemented by heuristic, evolutionary global optimization algorithms. The characteristic of this type of heuristics is that they lend themselves to an extremely high degree of parallel processing. Some of these heuristics are specifically designed to avoid local optimums. The wide possibilities for

parallel processing in evolutionary and population heuristics allow their realization on heterogeneous systems for distributed computations. In order to be more financially efficient, this type of distributed calculation can be performed on the principles of donated computing power. The presence of significantly more mobile devices (smartphones and tablets) compared to desktop computer systems leads to motivation to perform calculations in the form of mobile distributed calculations.

A summary of the characteristics of the exact numerical and heuristic teaching methods is made, considered in the review part.

Main conclusions to Chapter 1:

All of the above gives reason to seek the implementation of a mobile distributed computing system that trains artificial neural networks, with a hybrid algorithm (error propagation and population global optimization) to predict financial time series.

Chapter 2 Algorithms for forecasting and training of ANN

The second chapter presents author's algorithms. Possibilities for improving the selection algorithm in genetic algorithms have been studied. The idea of recursive descent into nodes of tree structure is applied, as each node is characterized by a sub-population. In each node, complete depletion is performed for recombination of individuals in the adjacent node under a population, calculating the target function (Table 2.2).

	Michalewicz	Ackley	Schwefel	Rastrigin	Griewank
Local Search	1062492546	531027435	533232986	507650704	592370933
Brute-Force	403141211	166733879	175069174	159862955	218428047

Table 2.1 Time spent in milliseconds

	Michalewicz	Ackley	Schwefel	Rastrigin	Griewank
Local Search	641125639	641024362	640914978	641092606	640830762
Brute-Force	235794757	235794757	235794757	235794757	235794757

Table 2.2 Number of calculations of the objective function

	Michalewicz	Ackley	Schwefel
Local Search	-1484.7137949531716	21.09334816052046	3877924.0971615044
Brute-Force	-1439.2296970724608	21.114702255301292	3919318.729777085
	Rastrigin	Griewank	
Local Search	170204.87849875208	259918.15469527297	
Brute-Force	171780.33307271387	262621.61053178157	

Table 2.3 Achieved suboptimal values

Complete depletion is also combined with local search, in order to further improve (Table 2.1) the results (Table 2.3) in the specific node. The achieved results are presented in (Tomov-01, Tomov-02). In the publication (Tomov-01) the author of this dissertation has 1/3 contribution, which consists in proposing the presented idea and writing the program code for the experiments, which is why he is the leading author in the publication. In the publication (Tomov-02) the author of the present dissertation has 1/3 contribution, which consists in proposing the presented idea and writing the program code for the experiments, which is why he is the leading author in the publication.

The possibilities for fitting curves to multiple points with the help of an equation for lines and a series of sine functions have been studied. The achieved curve is used to generate a forecast (Fig. 2.4), outside the range of known measured points. The achieved results are presented in (Velichkova-01). In a publication (Velichkova-01) the author of this dissertation has 1/3 contribution, which consists in proposing the presented idea. The possibilities for rapid prototyping of artificial neural networks with

the help of a swarm of particles and the evolution of differences have been studied. The achieved results are presented in (Tomov-04).

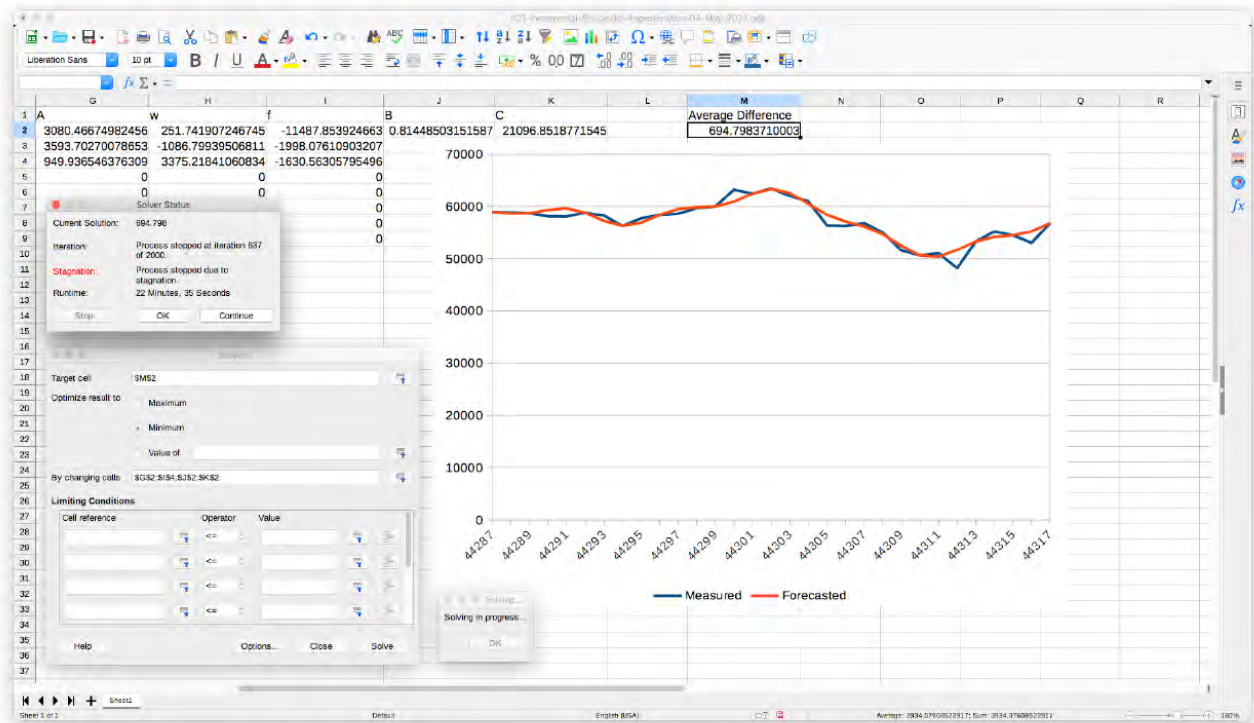


Fig. 2.4 Approximation with lines and sine functions

An alternative to the first derivative of the periodic attenuating sinusoid for activation function in artificial neural networks has been proposed. When the activation function has a periodic component, this also affects its first derivative. The periodic component and both breakpoints lead to a delay in the learning process. As a result of these two complications, backpropagation training leads to a slower convergence of the algorithm. An elegant approach to speed up the process is to replace the first derivative with a function similar in shape but without a periodic component and without breakpoints $f(x) = \exp(-x^2)$. A comparison is made between the proposed alternative function and the first derivative of the periodic decaying sine wave as an activation function. The alternative function gives better results in terms of speed and error (Fig. 2.5 and Fig. 2.6).

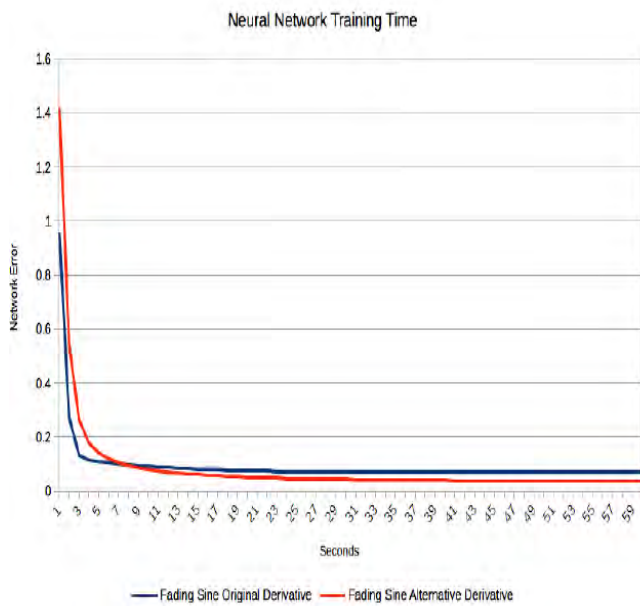


Fig. 2.5 Error made by the network



Fig. 2.6 Number of epochs

A study of the possibilities for classifying consumer votes in forecasting financial time series has been performed. When developing a system for collecting consumer votes, the classification of the collected data is essential. In order for users' votes to be used for future forecasting, the information collected must be classified according to the frequency of voting per user and the success rate of each vote cast. This task is effectively solved with self-organizing Kohonen maps. The achieved results (Fig. 2.7) are presented in (Tomov-03). In the publication (Tomov-03) the author of the present dissertation has 1/3 contribution, which consists in proposing the presented idea and writing the program code for performing the experiments, which is why he is the leading author in the publication.

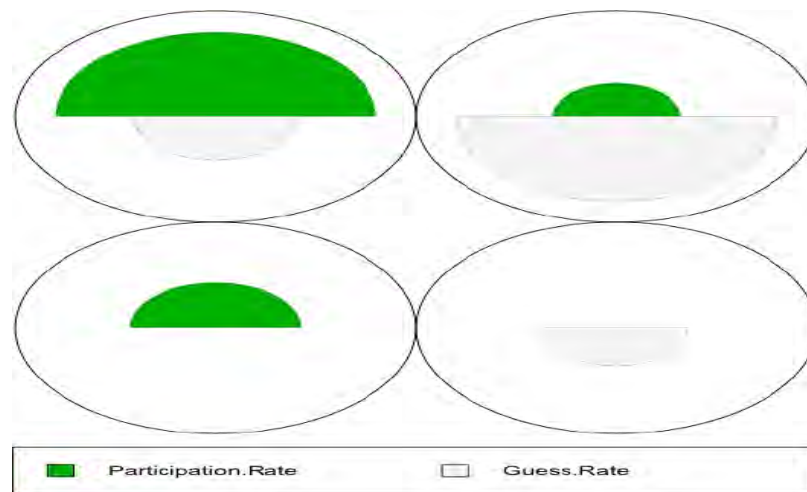


Fig. 2.7 Four groups by frequency of participation and level of knowledge

Main conclusions to Chapter 2:

- a) Proposed improvements in the selection operation in genetic algorithms can improve the search for suboptimal solutions, although this is at the expense of computational time;
- b) The generalizing possibilities of sinusoidal approximation give sufficient grounds for this tool to find application in the practical forecasting of financial time series;
- c) Rapid prototypes of artificial neural networks are possible with the available optimization tools in spreadsheet software packages;
- d) Alternatives to derivatives in artificial neural networks can speed up the learning process;
- e) Slowly calculated target functions significantly slow down the process of finding suboptimal solutions;
- f) Classification of consumer vote in human-computer distributed calculations is a key component for generating forecasts.

Chapter 3. Software system for forecasting with ANN of time series

The third chapter presents the architecture (Fig. 3.1) and software implementation of a distributed system in mobile forecasting devices.

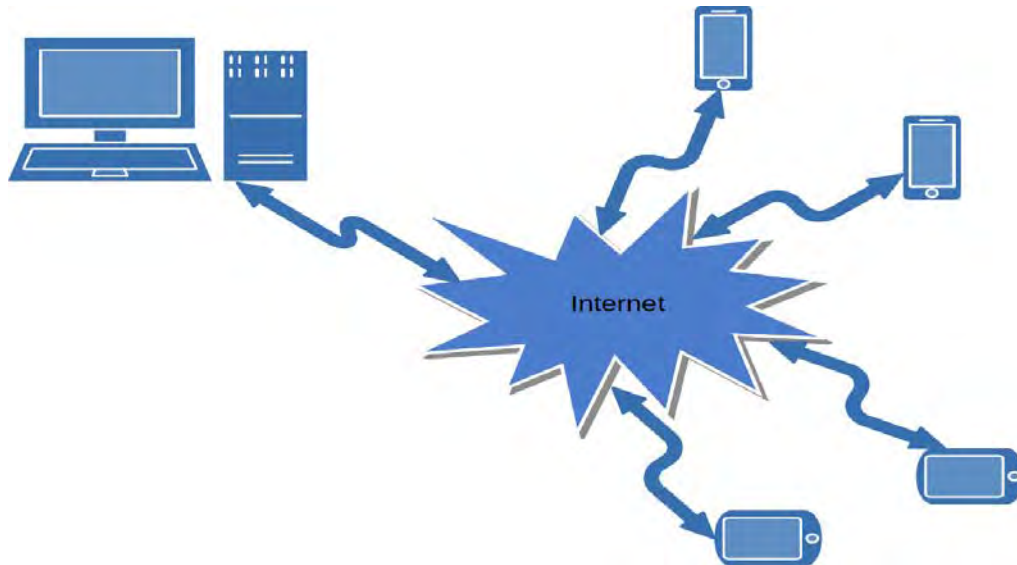


Fig. 3.1 System architecture

A software solution for mobile devices has been developed under the Android OS operating system (Fig. 3.2).



Fig. 3.2 Mobile application

The developed program code is presented as a subsystem of client-server type. In turn, the mobile application is presented with a modular architecture (Fig. 3.3) for maximum configurability.

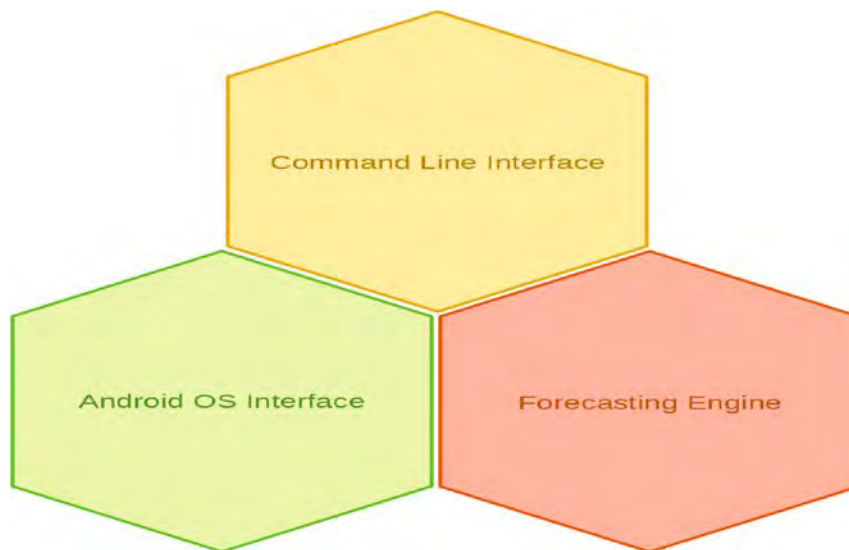


Fig. 3.3 Modular organization

A presentation of the developed graphical user interface was also made (Fig. 3.4). The external program libraries included in the forecast calculation processes are presented (Fig. 3.5).



Fig. 3.4 Graphical User Interface

The user has the opportunity to see the currency pair for which the forecast was made, the learning process of the ANN and the result (forecast value) of the trained neural network. The interface also allows collecting the user's subjective opinion on

how he expects the price of the respective currency pair to change. The external program libraries included in the forecast calculation processes are presented (Fig. 3.5).

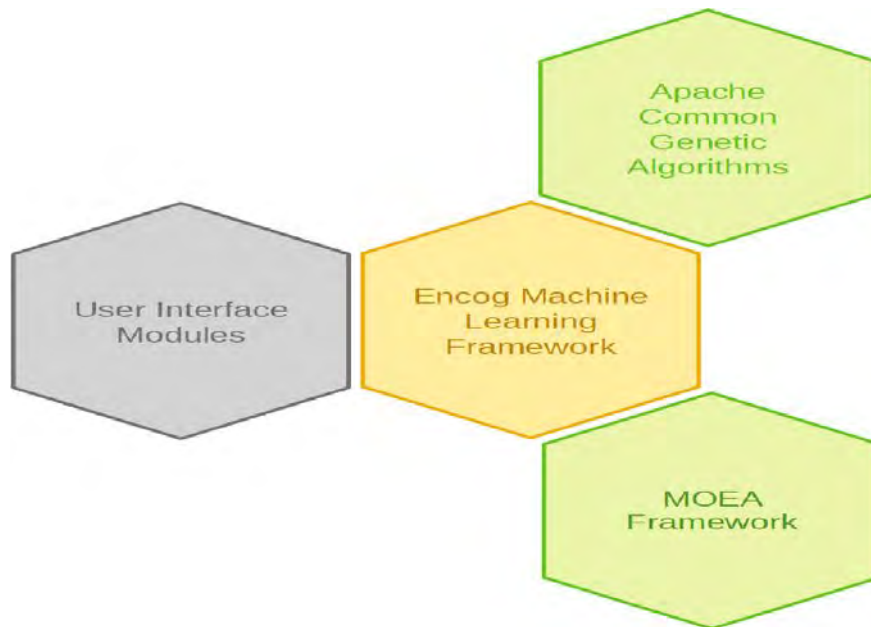


Fig. 3.5 External program libraries

The results obtained are presented in (Tomov-05, Tomov-06, Tomov-07, Zankinski-02). In the publication (Tomov-05) the author of this dissertation has 1/3 contribution, which consists in proposing the presented idea and writing the program code for the experiments, which is why he is the leading author in the publication. In the publication (Tomov-06) the author of the present dissertation has 1/3 contribution, which consists in proposing the presented idea and writing the program code for the experiments, which is why he is the leading author in the publication. In the publication (Tomov-07) the author of this dissertation has 1/3 contribution, which consists in proposing the presented idea and writing the program code for the experiments, which is why he is the leading author in the publication. In the publication (Zankinski-02) the author of the present dissertation has 1/3 contribution, which consists in writing the program code for performing the experiments.

Main conclusions to Chapter 3:

- a) The distributed computing architecture with mobile devices can be extremely effective in solving practical problems;
- b) The modular organization of the software in mobile applications gives a high degree of flexibility in solving technological tasks;
- c) The graphical user interface is key to user satisfaction when participating in projects with donated computing power;
- d) The efficient separation of the calculation modules from the graphical user interface modules allows for effective quality control;
- e) The use of open source software libraries significantly shortens software production time and improves quality by relying on the active community of software library maintenance community.

Chapter 4 Numerical tests of algorithms in the forecasting system

In the fourth chapter a comparative analysis of the selected exact numerical methods and heuristic methods for training artificial neural networks is performed. The basic form of the time series, the next sine function and the complex form of the time series from the price of the digital currency bitcoin were used as input data.

The tested exact numerical algorithms are:

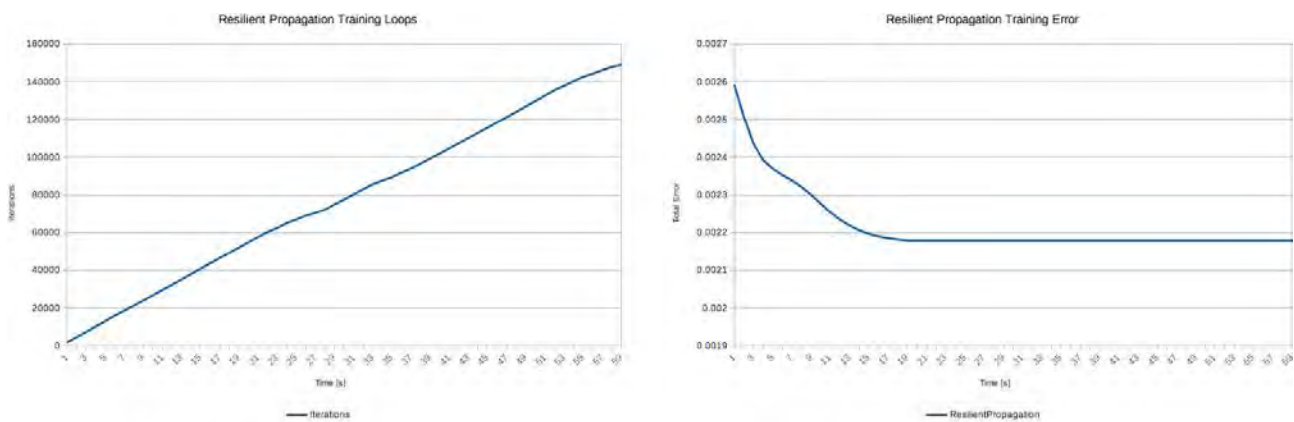
- Backpropagation;
- ResilientPropagation;
- QuickPropagation;
- ScaledConjugateGradient;
- ManhattanPropagation.

The tested heuristic algorithms are:

- Evolution Strategy;
- Genetic Algorithm;
- Differential Evolution.

For each algorithm, a graphical representation of the number of training cycles and the total error made by the ANN was made.

With the exact numerical methods, the algorithm for learning with error backpropagation is clearly distinguished (Fig. 4.1).



(a) Брой тренировъчни цикли

(б) Обща грешка допусната от ИНМ

Fig. 4.1 Resilient Propagation

In heuristic methods, genetic algorithms show good results (Fig. 4.2). The results obtained are presented in (Tomov-08).

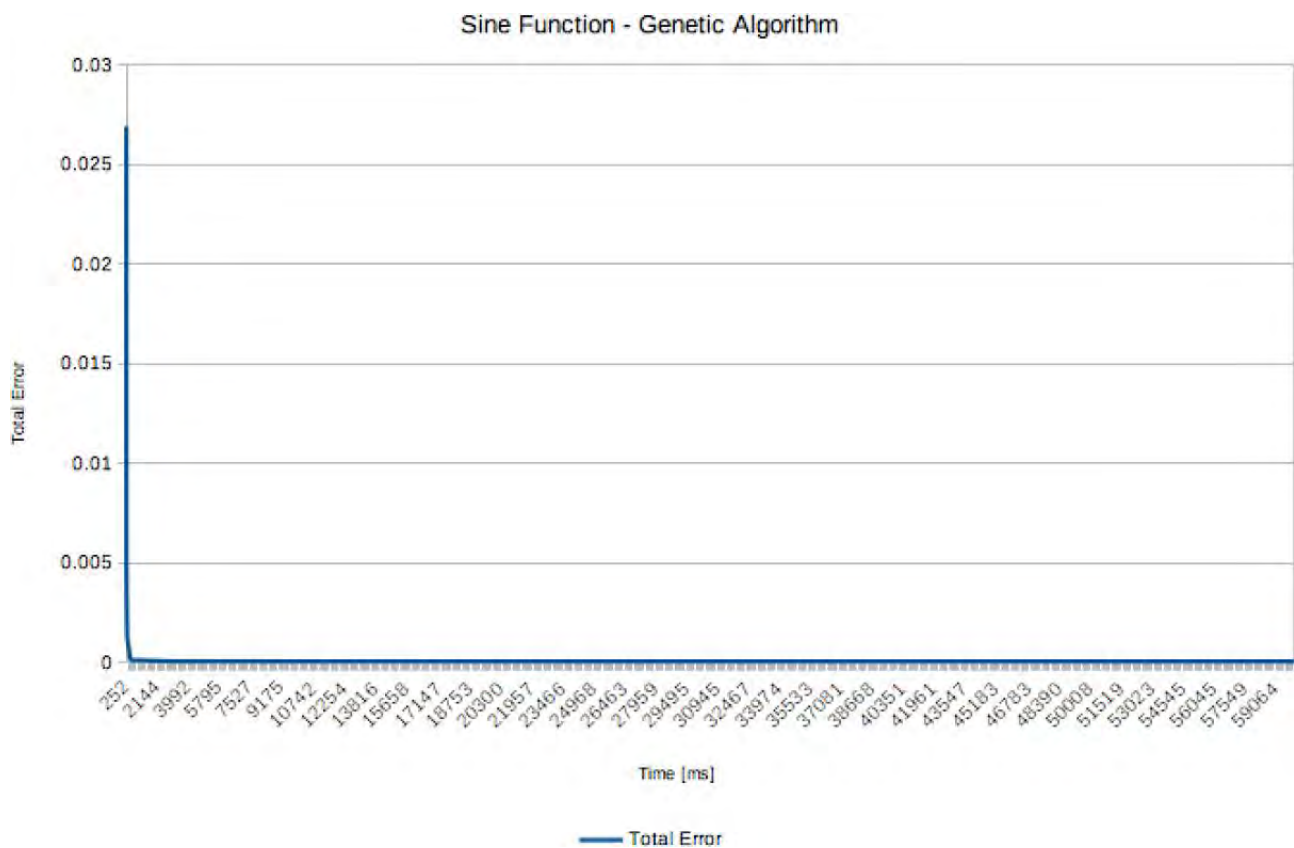


Fig. 4.2 Efficiency of genetic algorithms

Main conclusions to Chapter 4:

- a) Accurate numerical methods are extremely effectively combined with stochastic optimization algorithms in the training of artificial neural networks;
- b) The open format in which the list of accurate and stochastic algorithms are organized allows for rapid and efficient expansion of this list of algorithms;

Conclusion – summary of the obtained results

The obtained results, described in the present dissertation, can be summarized in the following scientific and applied scientific contributions / results:

1. A review analysis and classification of algorithms for training of artificial neural networks of the multilayer perceptron type has been made. The most used ways of forecasting time series and how machine self-learning is applied in this problem area are discussed. It has been found that the

- backpropagation algorithm, which belongs to the group of exact numerical, gradient algorithms, is the most commonly used for training artificial neural networks. It has also been found that this algorithm complements very well with the heuristic, evolutionary algorithms for global optimization, which in turn lend themselves to an extremely high degree of parallel processing;
2. For the purposes of the ANN training process, a genetic algorithm that relies on operations such as selection, crossbreeding and mutation has been proposed in determining weights. Therefore, a new selection operator has been proposed, based on the creation of generations in a recursive descent procedure, which provides the desired speed of the used heuristic algorithms;
 3. The incremental approximation of time series is most often realized by the equation of lines and a line of sine functions. To achieve a better approximation, an approach for calculating the coefficients of the sine functions with an optimizer based on the evolution of differences and a swarm of particles is proposed;
 4. An alternative derivative to the activation function in artificial neural networks is proposed. The results obtained show better speed and error in favor of the proposed alternative function than when using the first derivative of a periodic attenuation activation function;
 5. A genetic algorithm for training artificial neural networks of the multilayer perceptron type in a distributed environment has been proposed, which makes it possible to use it in parallel processing;
 6. A software architecture is proposed, allowing the implementation of mobile distributed computing, based on the proposed hybrid algorithms. The software implementation for hybrid use of gradient numerical and heuristic algorithms for weight optimization in artificial neural networks is implemented in a mobile application for Android.

Guidelines for Future Research

Achieving in the Android operating system could be a similar goal to achieve in the iOS operating system of Apple. Unlike Android, iOS is a completely closed operating system. The iOS application distribution model would also lead to additional difficulties. Another direction for the development of the ideas from the dissertation is oriented to the KaiOS operating system. This operating system is not yet widespread and is aimed primarily at less powerful mobile devices, but can be a very productive direction for further research.

Regarding the algorithms and software libraries used, there are many possibilities to improve the existing algorithms and add new ones. The software libraries used are open source, which gives great freedom to study the program code, add it and optimize it, as well as expand it with new algorithms.

Some of the areas with potential application of artificial neural networks are management of autonomous systems, forecasting the workload of employees, forecasting the presence of employees in the office, when conducting a population census and others. Some of these potential applications are also targeted by some future research.

Approbation of results and publications

The main results obtained in the development of the dissertation are reported in eleven publications in specialized journals, national and international conferences:

1. Mateeva, G., Tomov, P., Parvanov, D., Petrov, P., Kostadinov, G., Balabanov, T.: Some Capabilities of Android OS for Distributed Computing. Proceedings of Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering BdKCSE'21, 2021, 1-6, ISBN 978-1-6654-1043-4.

2. Zankinski, I., Barova, M., Tomov, P.: Hybrid Approach Based on Combination of Backpropagation and Evolutionary Algorithms for Artificial Neural Networks Training by Using Mobile Devices in Distributed Computing Environment. Proceedings of 11th International Conference on Large-Scale Scientific Computations LSSC'17, June 5-9, 2017, Sozopol, Bulgaria, 2017, 425-434, ISBN 978-3-319-73440-8.

3. Tomov, P.: Encog Gradient Training Algorithms Evaluation. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 77, 2021, 11-19, ISSN 2738-7356.

4. Tomov, P.: Multilayer Perceptron Fast Prototyping with Differential Evolution and Particle Swarm Optimization in LibreOffice Calc. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 75, 2021, 5-14, ISSN 2738-7356.

5. Tomov, P., Zankinski, I., Balabanov, T.: Training of Artificial Neural Networks for Financial Time Series Forecasting in Android Service and Widgets. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, no. 71, Institute of Information and Communication Technologies - Bulgarian Academy of Sciences, 2019, 50-56, ISSN 1314-409X.

6. Tomov, P., Zankinski, I., Balabanov, T.: Server Side Vote Clustering in Human-Computer Distributed Computing. Information Technologies and Control, no. 2, John Atanasoff Society of Automatics and Informatics, 2019, 15-19, ISSN 2367-5357.

7. Tomov, P., Zankinski, I., Barova, M.: Artificial Neural Networks Time Series

Forecasting with Android Live Wallpaper Technology. Proceedings of the International Conference Numerical Methods for Scientific Computations and Advanced Applications NMSCAA'18, May 28-31, 2018, Hissarya, Fastumprint, 2018, 76-79, ISBN 978-954-91700-7-8.

8. Tomov, P., Zankinski, I., Barova, M.: Mobile Alternative of the Moneybee Project For Financial Forecasting. Proceedings of the Annual University Scientific Conference of the National Military University Vasil Levski, June 14-15, 2018, Veliko Tarnovo, Innovation and Sustainability Academy – ISA, 2018, 1085-1089, ISSN 2367-7481.

9. Tomov, P., Monov, V.: Modeling and Analysis of Time Series. Proceedings of International Scientific Conference UniTech'17, Gabrovo, November 17-18, 2017, vol. II, University publishing house Vasil Aprilov, 2017, 404-409, ISSN 1313-230X.

10. Tomov, P., Monov, V.: Artificial Neural Networks and Differential Evolution Used for Time Series Forecasting in Distributed Environment. Proceedings of the International Conference Automatics and informatics, October 4-5, 2016, Sofia, Bulgaria, Federation of the scientific engineering unions, John Atanasoff Society of Automatics and Informatics, 2016, 129-132, ISSN 1313-1850.

11. Keremedchiev, D., Barova, M., Tomov, P.: Mobile Application as Distributed Computing System for Artificial Neural Networks Training Used in Perfect Information Games, International Scientific Conference UniTech'16, Gabrovo, University publishing house Vasil Aprilov, 2016, 389-393, ISSN 1313-230X.

The results achieved in the dissertation were awarded a prize in a competition for global scalable optimization, held as part of the International Conference on High Performance Computing, 2019.

Declaration of Originality

Hereby, I declare that I have composed the presented thesis independently on my own and without any other resources than the ones indicated. All thoughts taken directly or indirectly from external sources are properly denoted as such.

This work has neither been previously submitted to another authority nor has it been published yet.

Signature:.....

Acknowledgments

I would like to express my sincere gratitude and appreciation to my supervisor Prof. Vladimir Monov, Ph.D. and to Prof. Daniela Borissova, D.Sc., for their valuable guidance, professional competence and assistance in the preparation of this thesis.

I would also like to thank to my colleagues Senior Research Associate Todor Balabanov, PhD and Eng. Ilian Zankinski, with whom we have worked together throughout most of the research, for their help and assistance.

Bibliography

- [Tomov-01] Tomov, P., Zankinski, I., Balabanov, T.: Genetic algorithm selection operator based on recursion and Brute-Force. Proceedings of 14th Annual Meeting of the Bulgarian Section of SIAM, 93--93, (2019). ISSN 1313-3357
- [Tomov-02] Tomov, P., Zankinski, I., Danev, V.: Local Search, Brute-Force and Recursion for Selection Operator. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 74, 24--32, (2020). ISSN 2738-7364 DOI 10.7546/PECR.74.20.03
- [Tomov-03] Tomov, P., Zankinski, I., Balabanov, T.: Server Side Vote Clustering in Human-Computer Distributed Computing. Information Technologies Control, vol. 2, no. 3, 15--19, (2019). ISSN 2367-5357 DOI 10.7546/itc-2019-0008
- [Tomov-04] Tomov, P.: Multilayer Perceptron Fast Prototyping with Differential Evolution and Particle Swarm Optimization in LibreOffice Calc. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 75, 5--14, (2021). ISSN 2738-7356 DOI 10.7546/PECR.75.21.02
- [Tomov-05] Tomov, P., Zankinski, I., Barova, M.: Mobile Alternative of the Moneybee Project For Financial Forecasting. Proceedings of the Annual University Scientific Conference of the National Military University Vasil Levski, 1085--1089, (2018). ISSN 2367-7481
- [Tomov-06] Tomov, P., Zankinski, I., Barova, M.: Artificial Neural Networks Time Series Forecasting with Android Live Wallpaper Technology. Proceedings of the International Conference Numerical Methods for Scientific Computations and Advanced Applications, 76--79, (2018). ISBN 978-954-91700-7-8
- [Tomov-07] Tomov, P., Zankinski, I., Balabanov, T.: Training of Artificial Neural

Networks for Financial Time Series Forecasting in Android Service and Widgets. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 71, 50--56, (2019). ISSN 1314-409X

- [Tomov-08] Tomov, P.: Encog Gradient Training Algorithms Evaluation. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 77, 11--19, (2021). ISSN 2738-7356 DOI 10.7546/PECR.77.21.02
- [Velichkova-01] Velichkova, V., Tomov, P., Balabanov, T.: Incremental Sinusoidal Approximation of Time Series with LibreOffice Calc Solver. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 75, 43--50, (2021). ISSN 2738-7364 DOI 10.7546/PECR.75.21.05
- [Zankinski-02] Zankinski, I., Barova, M., Tomov, P.: Hybrid Approach Based on Combination of Backpropagation and Evolutionary Algorithms for Artificial Neural Networks Training by Using Mobile Devices in Distributed Computing Environment. Proceedings of 11th International Conference on Large-Scale Scientific Computations, 425--434, (2017). ISBN 978-3-319-73440-8 DOI 10.1007/978-3-319-73441-5



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

АВТОРЕФЕРАТ НА ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен “доктор” по научна специалност “Комуникационни мрежи и системи”

ПРОГНОЗИРАНЕ НА ВРЕМЕВИ РЕДОВЕ С ИЗКУСТВЕНИ НЕВРОННИ МРЕЖИ

Петър Росенов Томов

Ръководител: Проф. Владимир Монов

Научно жури:

Проф. Милена Лазарова-Мицева

Проф. Коста Бошнаков

Проф. Велислава Любенова

Доц. Татяна Атанасова

Проф. Димитър Карастоянов



**Институт по информационни и
комуникационни технологии**

**Секция „Информационни процеси и системи за
вземане на решения “**

Увод

В ежедневието човек се сблъсква с много и различни времеви редове, представляващи дискретни случайни величини, подредени в хронологичен ред. Типичен пример са средните дневни температури, количествата продадени горива през годината, стойностите на валутите на финансовите пазари и други. В почти всички области на човешката дейност се наблюдават такива явления и затова те са предмет на изучаване и прогнозиране.

Изкуствените невронни мрежи постигат изключително голяма популярност в последните пет десетилетия. Основното им предимство е възможността да възпроизвеждат нелинейни зависимости с помощта на примерни данни. Приложение намират като инструмент за класификация, разпознаване на образи и прогнозиране. При най-разпространения вариант, изкуствените невронни мрежи представляват насочени тегловни графи. Организацията е на слоеве, като информацията се предава от входния слой към изходния слой. Най-често възлите между отделните слоеве са пълно свързани, което означава, че всеки възел е свързан с всички други възли от съседния слой. Организацията на броя слоеве и колко възли да има във всеки слой е обект на емпирично установяване и силно зависи от естеството на решаваната задача. Процесът на обучение най-често е с тренировъчни примери (обучение с учител) и целта е да се постигне такава оптимална стойност за теглата по ребрата на графа, така че изкуствената невронна мрежа максимално добре да извършва изчисленията, за които е предназначена. Веднъж обучени, изкуствените невронни мрежи са изключително бързо действащи. Тази тяхна характеристика ги прави особено желани в множество индустриални технически решения. Трудностите при употребата на изкуствени невронни мрежи са свързани с времето, необходимо за тяхното обучение. През десетилетията са разработени множество различни алгоритми за търсене на оптимални тегла в мрежата. Двете основни направления алгоритми са градиентни (точни числени алгоритми) и

евристични (най-често стохастични с въведени емпирични правила). Ускоряването на процеса по обучение е основен проблем в практическата употреба на изкуствените невронни мрежи.

Цел и задачи

Цел на настоящия дисертационен труд е да се предложат хибридни алгоритми за ускоряване на обучението при изкуствени невронни мрежи от тип многослоен перцептрон за целите на прогнозирането на времеви редове. За реализиране на тази цел е необходимо да се изпълнят следните задачи:

- * Да се направи обзорен анализ и класификация на алгоритмите за обучение на изкуствени невронни мрежи от тип многослоен перцептрон;
- * Да се анализира възможността за комбиниране на различни алгоритми за реализиране на хибридно обучение на изкуствени невронни мрежи от тип многослоен перцептрон;
- * Да се предложат алгоритми за обучение на изкуствени невронни мрежи от тип многослоен перцептрон в разпределена среда;
- * Да се предложи подобрене с цел намаляване на времето за обучение на изкуствени невронни мрежи от тип многослоен перцептрон;
- * Да се предложи софтуерна архитектура за реализиране на мобилни разпределени изчисления за прогнозиране;
- * Да се направи програмна реализация на предложените хибридни алгоритми за обучение на изкуствени невронни мрежи от тип многослоен перцептрон с цел доказване на тяхната работоспособност;
- * Да се направи сравнителен анализ за ефективността на познатите алгоритми за обучение на изкуствени невронни мрежи от тип многослоен перцептрон.

Структура на дисертационния труд

Дисертационният труд е структуриран в увод, изложение от четири глави, заключение, декларация за оригиналност на резултатите, списък на публикациите по дисертационния труд и библиография. Дисертационният труд е в обем от 157 страници, 68 фигури и 4 таблици, 134 цитирани литературни източника и 1 приложение.

В **увода** е изяснена актуалността на проблема и са представени структурата, обектът, предметът, целите и задачите.

В **първа глава** е направен обзорен анализ и класификация на широко използваните алгоритми за обучение на изкуствени невронни мрежи. Определени са предимствата и недостатъците на точните числени алгоритми и на евристичните алгоритми. Представени са възможностите за обучение на изкуствени невронни мрежи при последователни пресмятания, паралелни пресмятания и пресмятания в разпределена среда.

Във **втора глава** е изложена теорията за алгоритмите при обучението на изкуствени невронни мрежи от тип многослоен перцептрон. Предложени са модификации на някои от алгоритмите, които са приложими при прогнозирането на времеви редове. Приложените модификации се отнасят до: 1) определяне на теглата, чрез използване на генетичен алгоритъм, използващ операциите – селекция, кръстосване и мутация. Предложен и анализиран е нов оператор за селекция, основан на създаването на поколения при процедура за рекурсивно спускане. Изследвано е експериментално бързодействието на използваните евристични алгоритми; 2) апроксимиране на криви към множество точки – за инкрементална апроксимация на времеви редове се използват уравнение на права и ред от синус функции. Предложен е подход за пресмятане на коефициентите на синус функциите с оптимизатор, базиран на еволюция на разликите и рояк от частици; 3) обучението на изкуствена невронна мрежа – представен е разгърнат модел на обучението, което цели намиране на оптимални тегла за мрежа от тип

трислоен перцептрон; 4) активационната функция в изкуствени невронни мрежи – предложена е алтернатива на производна за активационната функция в изкуствени невронни мрежи. Съществена особеност на предложената функция, е че показва обещаващи резултати по отношение на бързодействието и точността. За целите на численото тестване на предложените модификации е необходимо класифициране според честотата на гласуване за всеки потребител и процент на успех на всеки подаден глас. Решаването на тази конкретна задача е реализирано чрез използване на самоорганизиращи се карти на Кохонен.

В **трета глава** е представена софтуерна архитектура, позволяваща реализация на избрани алгоритми и предложените модификации. За реализацията на софтуерната архитектура е предложен обектно-ориентиран модел, релационен модел, комуникационните протоколи и графичен потребителски интерфейс. Всички те основаващи се на подходящи структури от данни.

В **четвърта глава** е изложен сравнителен анализ на някои точни числени и евристични алгоритми. Описани са проведените експерименти и получените резултати. Анализирани е тяхната производителност и общо допуснатата грешка.

В **заклучението** е направено обобщение на извършените изследвания. Посочени са също така и някои насоки за бъдещи изследвания, свързани с областта на приложението на изкуствените невронни мрежи.

Глава 1. Прогнозиране на времеви редове с помощта на машинно самообучение

В първа глава е направен обзор на най-използваните начини за прогнозиране на времеви редове и по какъв начин машинното самообучение се прилага в тази проблемна област. Разработването на прогнози е от голяма важност за съвременните общества. Като започнем от прогноза за метеорологичната

обстановка и стигнем до прогнози за промяната на цените за стоки, акции и валути. В случая с прогнозирането на цени, данните успешно се представят във формата на времеви ред. Съвсем логично, всяка следваща стойност да има някаква зависимост от предходните стойности. През последните десетилетия са разработени много начини за прогнозиране на финансови времеви редове, но като един от най-обещаващите, се открояват изкуствените невронни мрежи. Характерно за изкуствените невронни мрежи е, че те са много ефективен инструмент, след като веднъж са обучени. Процесът на обучение, от своя страна, често отнема твърде дълго време и се нуждае от голямо количество изчислителни ресурси. Един от най-използваните начини за обучение на изкуствени невронни мрежи е алгоритъмът с обратно разпространение на грешката. Този алгоритъм спада към групата на точните числени, градиентни методи. Негови слабости са невъзможността да бъде ефективно реализиран в паралелни изчисления и склонността му да изпада в локални оптимуми, без да има ефективни способи за избягването им. Алгоритъмът за обратно разпространение на грешката много добре се допълва с евристичните, еволюционни алгоритми за глобална оптимизация. Характерното за този вид евристики е, че те се поддават на изключително висока степен за паралелна обработка. Някои от тези евристики са специално създадени за избягване на локалните оптимуми. Широките възможности за паралелна обработка при еволюционните и популационните евристики позволяват реализацията им на хетерогенни системи за разпределени изчисления. С цел за по-висока финансова ефективност, този вид разпределени изчисления могат да се изпълняват на принципите за дарената изчислителна мощност. Наличието на значително повече мобилни устройства (умни телефони и таблети), спрямо настолните компютърни системи, води до мотивация пресмятанията да се реализират под формата на мобилни разпределени изчисления.

Направено е обобщение на характеристиките на точните числени и

евристични методи за обучение, разгледани в обзорната част.

Основни изводи:

Всичко изброено до тук, дава основанието да се търси реализация на система за мобилни разпределени изчисления, която обучава изкуствени невронни мрежи с хибриден алгоритъм (обратно разпространение на грешката и популационна глобална оптимизация) за прогнозиране на финансови времеви редове.

Глава 2. Алгоритми при прогнозиране и обучение на ИНМ

Във втора глава са представени авторски алгоритми. Изследвани са възможностите за подобряване на алгоритъма за селекция в генетичните алгоритми. Прилага се идея за рекурсивно спускане във възли от дървовидна структура, като всеки възел се характеризира с подпопулация. Във всеки възел се извършва пълно изчерпване за рекомбинация на индивидите в прилежащата на възела под популация, като се изчислява целевата функция (Таблица 2.2).

	Michalewicz	Ackley	Schwefel	Rastrigin	Griewank
Local Search	1062492546	531027435	533232986	507650704	592370933
Brute-Force	403141211	166733879	175069174	159862955	218428047

Таблица 2.1 Изразходвано време в милисекунди

	Michalewicz	Ackley	Schwefel	Rastrigin	Griewank
Local Search	641125639	641024362	640914978	641092606	640830762
Brute-Force	235794757	235794757	235794757	235794757	235794757

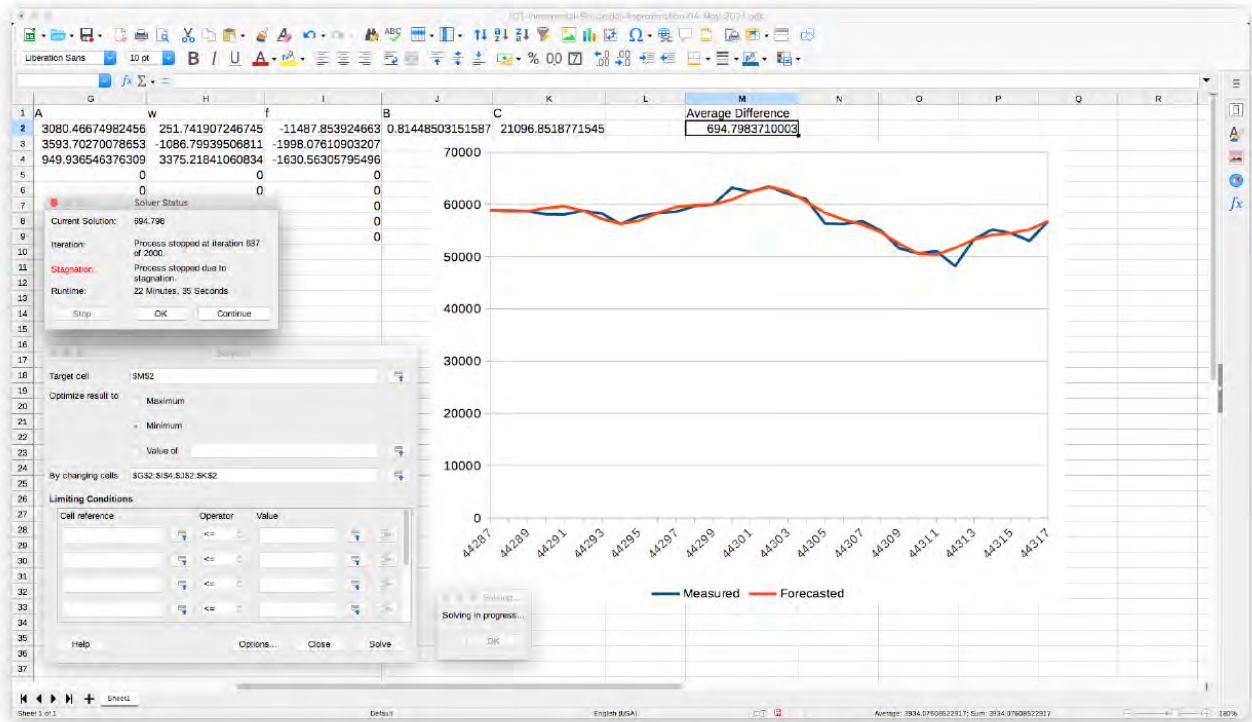
Таблица 2.2 Брой изчисления на целевата функция

	Michalewicz	Ackley	Schwefel
Local Search	-1484.7137949531716	21.09334816052046	3877924.0971615044
Brute-Force	-1439.2296970724608	21.114702255301292	3919318.729777085
	Rastrigin	Griewank	
Local Search	170204.87849875208	259918.15469527297	
Brute-Force	171780.33307271387	262621.61053178157	

Таблица 2.3 Достигнати субоптимални стойности

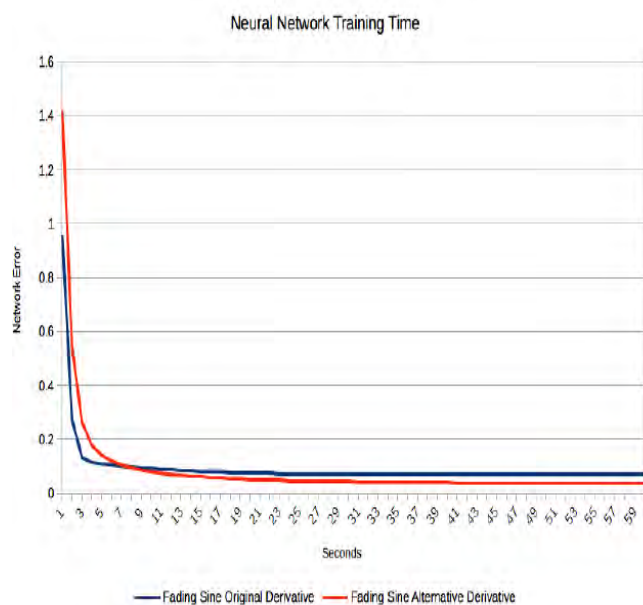
Пълното изчерпване се комбинира и с локално търсене, с цел допълнително подобряване (Таблица 2.1) на резултатите (Таблица 2.3) в конкретния възел. Постигнатите резултати са представени в (Томов-01, Томов-02). В публикация (Томов-01) авторът на настоящия дисертационен труд има 1/3 принос, който се състои в предлагането на представената идея и написването на програмния код за извършване на експериментите, поради което е и водещ автор в публикацията. В публикация (Томов-02) авторът на настоящия дисертационен труд има 1/3 принос, който се състои в предлагането на представената идея и написването на програмния код за извършване на експериментите, поради което е и водещ автор в публикацията.

Изследвани са възможностите за напасване на криви към множество точки с помощта на уравнение за права и ред от синус функции. Постигнатата крива се използва за генериране на прогноза (Фиг. 2.4), извън диапазона на известните измерени точки. Постигнатите резултати са представени в (Velichkova-01). В публикация (Velichkova-01) авторът на настоящия дисертационен труд има 1/3 принос, който се състои в предлагането на представената идея. Изследвани са възможностите за бързо прототипиране на изкуствени невронни мрежи с помощта на рояк от частици и еволюция на разликите. Постигнатите резултати са представени в (Томов-04).

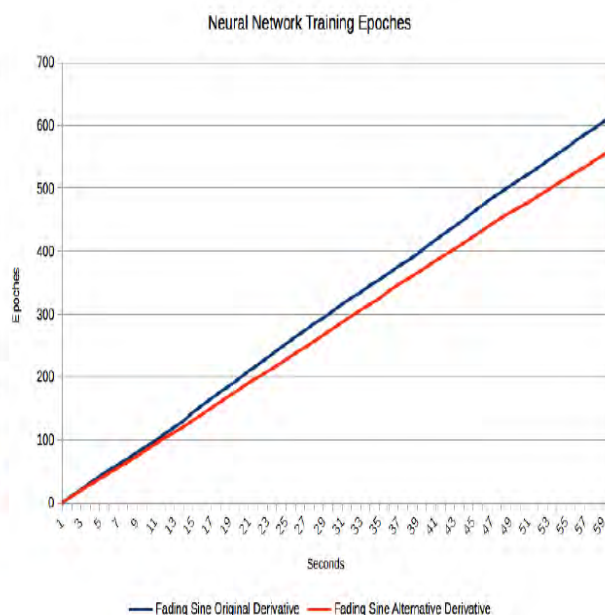


Фиг. 2.4 Апроксимация с права и синус функции

Предложена е алтернатива на първа производна на периодична затихваща синусоида за активационната функция в изкуствени невронни мрежи. Когато активационната функция има периодична компонента, това дава отражение и на нейната първа производна. Периодичният компонент и двете точки на прекъсване водят до забавяне на процеса по обучение. В следствие на тези две усложнения, обучението с обратно разпространение на грешката води до по-бавна сходимост на алгоритъма. Елегантен подход за ускоряване на процеса е подмяната на първата производна с функция, близка по форма, но без периодична компонента и без точки на прекъсване $f(x) = \exp(-x^2)$. Направено е сравнение между предложената алтернативна функция и първа производна на периодична затихваща синусоида като активационна функция. Алтернативната функция дава по-добри резултати по отношение на бързодействие и допуснатата грешка (Фиг. 2.5 и Фиг. 2.6).



Фиг. 2.5 Грешка допусната от мрежата



Фиг. 2.6 Брой епохи

Извършено е изследване на възможностите за класифициране на потребителския вот при прогнозиране на финансови времеви редове. При разработването на система за събиране на потребителски вот, от съществено значение е класификацията на събраните данни. За да може гласът на потребителите да се използва за бъдещо прогнозиране, събраната информация трябва да бъде класифицирана според честота на гласуване за един потребител и процент на успех на всеки подаден глас. Тази задача ефективно е решена със самоорганизиращи се карти на Кохонен. Постигнатите резултати (Фиг. 2.7) са представени в (Томов-03). В публикация (Томов-03) авторът на настоящия дисертационен труд има 1/3 принос, който се състои в предлагането на представената идея и написването на програмния код за извършване на експериментите, поради което е и водещ автор в публикацията.



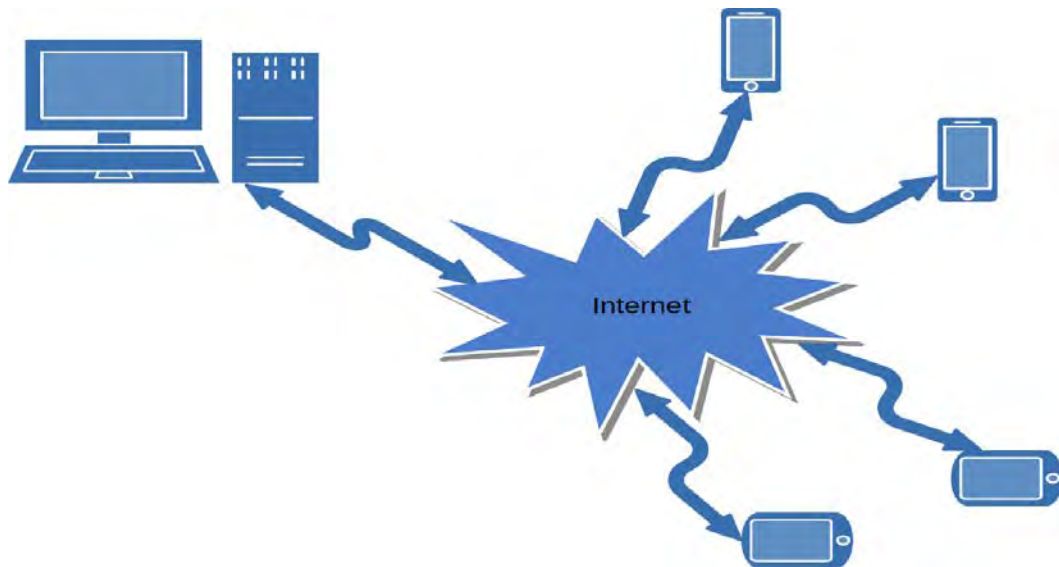
Фиг. 2.7 Четири групи по честота на участие и ниво на познаване

Основни изводи:

- а) Предложените подобрения в операцията за селекция в генетичните алгоритми може да подобри търсенето на субоптимални решения, макар и това да е за сметка на изчислителното време;
- б) Обобщаващите възможности на синусоидална апроксимация дават достатъчно основания този инструмент да намери приложение в практическото прогнозиране на финансови времеви редове;
- в) Бързи прототипи на изкуствени невронни мрежи са възможни с наличните инструменти за оптимизация в софтуерни пакети за електронни таблици;
- г) Алтернативи на производните в изкуствените невронни мрежи могат да доведат до ускорение на процеса по обучение;
- д) Бавно изчисляваните целеви функции значително забавят процеса по търсене на субоптимални решения;
- е) Класификацията на потребителския вот при човек-компютър разпределените изчисления е ключов компонент за генериране на прогнози.

Глава 3. Софтуерна система за прогнозиране с ИНМ на времеви редове

В трета глава е представена архитектура (Фиг. 3.1) и софтуерна реализация на разпределена система в мобилни устройства за прогнозиране.



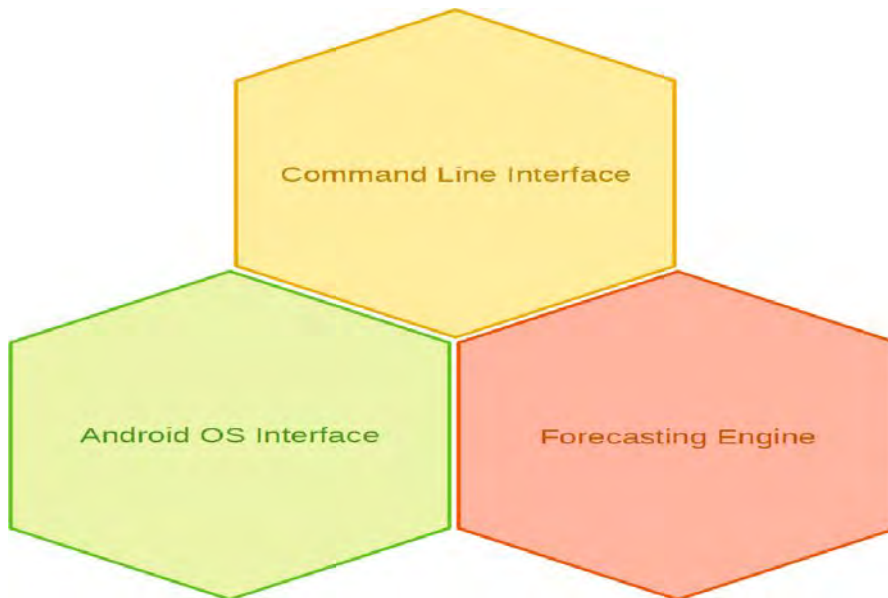
Фиг. 3.1 Архитектура на системата

Извършена е разработка на софтуерно решение за мобилни устройства, под операционната система Android OS (Фиг. 3.2).



Фиг. 3.2 Мобилно приложение

Разработеният програмен код е представен като подсистема от тип клиент-сървър. От своя страна, мобилното приложение е представено с модулна архитектура (Фиг. 3.3) за максимална конфигурируемост.



Фиг. 3.3 Модулна организация

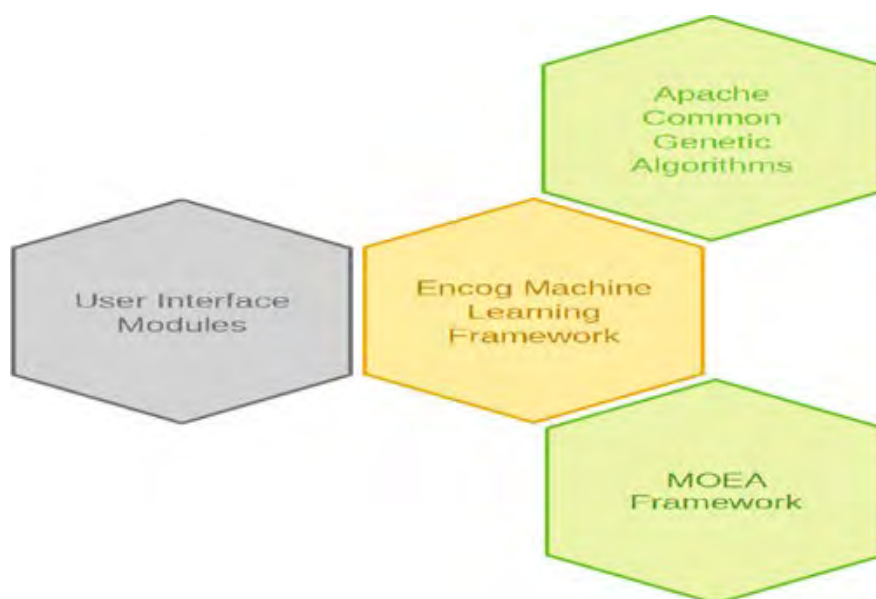
Направено е представяне и на разработения графичен потребителски интерфейс (Фиг. 3.4).



Фиг. 3.4 Графичния потребителски интерфейс

Потребителят има възможност да види валутната двойка, за която се е извършено прогнозирането, процеса на обучение на ИНМ и резултатът (прогнозната стойност) от обучената невронна мрежа. Интерфейсът позволява и събиране на субективното мнение на потребителя за това, как очаква да се

промени цената на съответната валутна двойка. Представени са външните програмни библиотеки, включени в процесите по пресмятането на прогнозите (Фиг. 3.5).



Фиг. 3.5 Външни програмни библиотеки

Получените резултати са представени в (Томов-05, Томов-06, Томов-07, Zankinski-02). В публикация (Томов-05) авторът на настоящия дисертационен труд има 1/3 принос, който се състои в предлагането на представената идея и написването на програмния код за извършване на експериментите, поради което е и водещ автор в публикацията. В публикация (Томов-06) авторът на настоящия дисертационен труд има 1/3 принос, който се състои в предлагането на представената идея и написването на програмния код за извършване на експериментите, поради което е и водещ автор в публикацията. В публикация (Томов-07) авторът на настоящия дисертационен труд има 1/3 принос, който се състои в предлагането на представената идея и написването на програмния код за извършване на експериментите, поради което е и водещ автор в публикацията. В публикация (Zankinski-02) авторът на настоящия дисертационен труд има 1/3 принос, който се състои в написването на програмния код за извършване на експериментите.

Основни изводи:

- а) Архитектурата за разпределени изчисления с мобилни устройства може да бъде изключително ефективна в решаването на практически задачи;
- б) Модулната организация на софтуера в мобилните приложения дава висока степен на гъвкавост при решаването на технологичните задачи;
- в) Графичният потребителски интерфейс е ключов за удовлетвореността на потребителя, при участие в проекти с дарена изчислителна мощност;
- г) Ефективното разделяне на модулите за пресмятане от модулите за графичния потребителски интерфейс дават възможност за ефективен контрол по качеството;
- д) Употребата на софтуерни библиотеки с отворен код значително скъсяват времето за производство на софтуера и подобряват качеството, разчитайки на активната общност по поддръжката на софтуерните библиотеки.

Глава 4. Числени тестове на алгоритмите в системата за прогнозиране

В четвърта глава е изпълнен сравнителен анализ на подбрани точни числени и евристични методи за обучение на изкуствени невронни мрежи. Като входни данни са използвани базова форма на времеви ред, следващ синус функция и сложна форма на времеви ред от цената на дигиталната валута биткойн.

Тестваните точни числени алгоритми са:

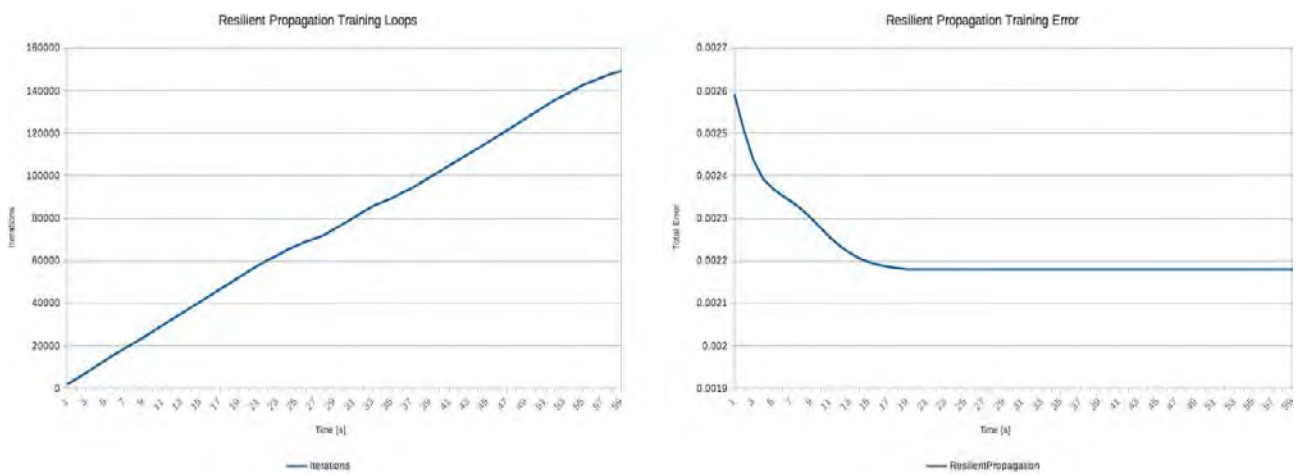
- Backpropagation;
- ResilientPropagation;
- QuickPropagation;
- ScaledConjugateGradient;
- ManhattanPropagation.

Тестваните евристични алгоритми са:

- Evolution Strategy;
- Genetic Algorithm;
- Differential Evolution.

За всеки един алгоритъм е направена графично представяне на броя тренировъчни цикли и общата допусната грешка от ИНМ.

При точните числени методи ясно се откроява алгоритъма за обучение с устойчиво разпространение на грешката (Фиг. 4.1).

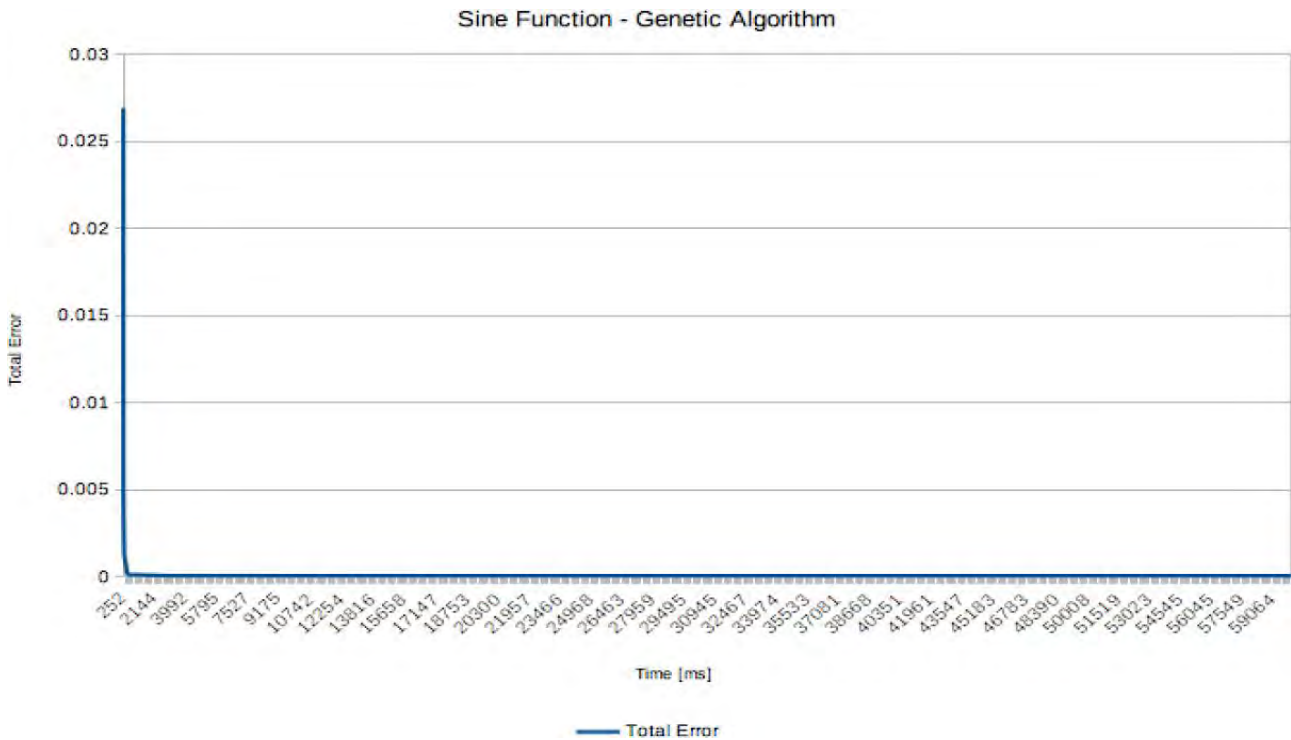


(а) Брой тренировъчни цикли

(б) Обща грешка допусната от ИНМ

Фиг. 4.1 Устойчиво обратно разпространение на грешката - Resilient Propagation

При евристичните методи добри резултати показват генетичните алгоритми (Фиг. 4.2) и еволюционната стратегия. Получените резултати са представени в (Томов-08).



Фиг. 4.2 Ефективност на генетичните алгоритми

Основни изводи:

а) Точните числени методи изключително ефективно се комбинират със стохастичните оптимизационни алгоритми, при обучението на изкуствени невронни мрежи;

б) Отвореният формат по който са организирани списъка от точни и стохастични алгоритми дава възможност за бързо и ефективно разширяване на този списък от алгоритми.

Заключение – резюме на получените резултати

Получените резултати, описани в настоящия дисертационен труд, могат да се обобщят в следните научни и научно-приложни приноси/резултати:

1. Направен е обзорен анализ и класификация на алгоритмите за обучение на изкуствени невронни мрежи от тип многослоен перцептрон. Разгледани са най-използваните начини за прогнозиране на времеви

редове и по какъв начин машинното самообучение се прилага в тази проблемна област. Установено е, че алгоритъмът с обратно разпространение на грешката, който е от групата на точните числени, градиентни алгоритми, е най-често използвания за обучение на изкуствени невронни мрежи. Установено е също така, че този алгоритъмът много добре се допълва с евристичните, еволюционни алгоритми за глобална оптимизация, които от своя страна се поддават на изключително висока степен за паралелна обработка;

2. За целите на процеса на обучение на ИНМ, при определяне на теглата, е предложено да се използва генетичен алгоритъм, който разчита на операциите като селекция, кръстосване и мутация. Поради това е предложен нов оператор за селекция, основан на създаването на поколения при процедура за рекурсивно спускане, което осигурява търсеното бързодействие на използваните евристични алгоритми;
3. Инкременталната апроксимация на времевите редове най-често се реализира от уравнение на права и ред от синус функции. За постигане на по-добро апроксимиране, е предложен е подход за пресмятане на коефициентите на синус функциите с оптимизатор, базиран на еволюция на разликите и рояк от частици;
4. Предложена е алтернатива на производна за активационната функция в изкуствени невронни мрежи. Получените резултати показват по-добро бързодействие и допусната грешка в полза на предложената алтернативна функция отколкото при използването на първа производна на периодична затихваща активационна функция;
5. Предложен е генетичен алгоритъм за обучение на изкуствени невронни мрежи от тип многослоен перцептрон в разпределена среда, което прави възможно използването му при паралелна обработка;
6. Предложена е софтуерна архитектура, позволяваща реализиране на

мобилни разпределени изчисления, базираща се на предложените хибридни алгоритми. Програмната реализация за хибридно използване на градиентни числени и евристични алгоритми за оптимизация на теглата в изкуствени невронни мрежи е реализирана в мобилно приложение за Android.

Насоки за бъдещи изследвания

Постигнатото в операционната система Android би могло да бъде сходна цел за постигане в операционната система iOS, на компанията Apple. За разлика от Android, iOS е изцяло затворена операционна система. Моделът за разпространение на приложения под iOS също би довел до допълнителни затруднения. Друга насока за развитие на идеите от дисертационния труд е ориентирана към операционната система KaiOS. Тази операционна система все още няма голямо разпространение и е насочена предимно към по-маломощни мобилни устройства, но може да се окаже изключително продуктивна посока за допълнителни научни изследвания.

По отношение на използваните алгоритми и софтуерни библиотеки, съществуват множество възможности за подобряване на наличните алгоритми и добавяне на нови такива. Използваните софтуерни библиотеки са с отворен код, което дава огромна свобода за изследване на програмния код, неговото дописване и оптимизиране, както и разширяването му с нови алгоритми.

Някои от областите с потенциално приложение на изкуствените невронни мрежи са управление на автономни системи, прогнозиране на работното натоварване на служители, прогнозиране на присъствието на служителите в офиса, при извършване на преброяване на населението и др. Към някои от тези потенциални приложения са насочени и част от бъдещите изследвания.

Апробация на резултатите и публикации

Основните резултати, получени при разработката на дисертационната работа, са докладвани в единадесет публикации на специализирани журналы, национални и международни конференции:

1. Mateeva, G., Tomov, P., Parvanov, D., Petrov, P., Kostadinov, G., Balabanov, T.: Some Capabilities of Android OS for Distributed Computing. Proceedings of Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering BdKCSE'21, 2021, 1-6, ISBN 978-1-6654-1043-4.
2. Zankinski, I., Barova, M., Tomov, P.: Hybrid Approach Based on Combination of Backpropagation and Evolutionary Algorithms for Artificial Neural Networks Training by Using Mobile Devices in Distributed Computing Environment. Proceedings of 11th International Conference on Large-Scale Scientific Computations LSSC'17, June 5-9, 2017, Sozopol, Bulgaria, 2017, 425-434, ISBN 978-3-319-73440-8.
3. Tomov, P.: Encog Gradient Training Algorithms Evaluation. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 77, 2021, 11-19, ISSN 2738-7356.
4. Tomov, P.: Multilayer Perceptron Fast Prototyping with Differential Evolution and Particle Swarm Optimization in LibreOffice Calc. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 75, 2021, 5-14, ISSN 2738-7356.
5. Tomov, P., Zankinski, I., Balabanov, T.: Training of Artificial Neural Networks for Financial Time Series Forecasting in Android Service and Widgets. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, no. 71, Institute of Information and Communication Technologies - Bulgarian Academy of Sciences, 2019, 50-56, ISSN 1314-409X.
6. Tomov, P., Zankinski, I., Balabanov, T.: Server Side Vote Clustering in Human-Computer Distributed Computing. Information Technologies and Control, no. 2, John Atanasoff Society of Automatics and Informatics, 2019, 15-19, ISSN 2367-5357.
7. Tomov, P., Zankinski, I., Barova, M.: Artificial Neural Networks Time Series Forecasting with Android Live Wallpaper Technology. Proceedings of the International Conference Numerical Methods for Scientific Computations and Advanced Applications NMSCAA'18, May 28-31, 2018, Hissarya, Fastumprint, 2018, 76-79, ISBN 978-954-91700-7-8.
8. Tomov, P., Zankinski, I., Barova, M.: Mobile Alternative of the Moneybee Project For Financial Forecasting. Proceedings of the Annual University Scientific Conference of the National Military University Vasil Levski, June 14-15, 2018, Veliko Tarnovo, Innovation and Sustainability Academy – ISA, 2018, 1085-1089, ISSN 2367-7481.

9. Tomov, P., Monov, V.: Modeling and Analysis of Time Series. Proceedings of International Scientific Conference UniTech'17, Gabrovo, November 17-18, 2017, vol. II, University publishing house Vasil Aprilov, 2017, 404-409, ISSN 1313-230X.
10. Tomov, P., Monov, V.: Artificial Neural Networks and Differential Evolution Used for Time Series Forecasting in Distributed Environment. Proceedings of the International Conference Automatics and informatics, October 4-5, 2016, Sofia, Bulgaria, Federation of the scientific engineering unions, John Atanasoff Society of Automatics and Informatics, 2016, 129-132, ISSN 1313-1850.
11. Keremedchiev, D., Barova, M., Tomov, P.: Mobile Application as Distributed Computing System for Artificial Neural Networks Training Used in Perfect Information Games, International Scientific Conference UniTech'16, Gabrovo, University publishing house Vasil Aprilov, 2016, 389-393, ISSN 1313-230X.

Резултатите, постигнати в дисертационния труд са отличени с награда в състезание за глобална скалируема оптимизация, провело се като част от Международната конференция за високопроизводителни изчисления, 2019 година.

Декларация за оригиналност на резултатите

Декларирам, че настоящата дисертация съдържа оригинални резултати, получени при проведени от мен научни изследвания, с подкрепата и съдействието на научния ми ръководител. Резултатите, които са получени, описани и/или публикувани от други учени, са надлежно и подробно цитирани в библиографията.

Настоящата дисертация не е прилагана за придобиване на научна степен в друго висше училище, университет или научен институт.

Подпис:

Благодарности

Изказвам своята искрена признателност и благодарност на научния си ръководител проф. д-р Владимир Монов и на проф. д.н. Даниела Борисова, за ценни напътствия, професионална компетентност и съдействие при подготовката на дисертационния труд.

Благодаря на колегите гл. ас. д-р Тодор Балабанов и инж. Илиян Занкински, с които работим заедно в голяма част от научните изследвания, за оказаната помощ и съдействие.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [Tomov-01] Tomov, P., Zankinski, I., Balabanov, T.: Genetic algorithm selection operator based on recursion and Brute-Force. Proceedings of 14th Annual Meeting of the Bulgarian Section of SIAM, 93--93, (2019). ISSN 1313-3357
- [Tomov-02] Tomov, P., Zankinski, I., Danev, V.: Local Search, Brute-Force and Recursion for Selection Operator. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 74, 24--32, (2020). ISSN 2738-7364 DOI 10.7546/PECR.74.20.03
- [Tomov-03] Tomov, P., Zankinski, I., Balabanov, T.: Server Side Vote Clustering in Human-Computer Distributed Computing. Information Technologies Control, vol. 2, no. 3, 15--19, (2019). ISSN 2367-5357 DOI 10.7546/itc-2019-0008
- [Tomov-04] Tomov, P.: Multilayer Perceptron Fast Prototyping with Differential Evolution and Particle Swarm Optimization in LibreOffice Calc. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 75, 5--14, (2021). ISSN 2738-7356 DOI 10.7546/PECR.75.21.02
- [Tomov-05] Tomov, P., Zankinski, I., Barova, M.: Mobile Alternative of the Moneybee Project For Financial Forecasting. Proceedings of the Annual University Scientific Conference of the National Military University Vasil Levski, 1085--1089, (2018). ISSN 2367-7481
- [Tomov-06] Tomov, P., Zankinski, I., Barova, M.: Artificial Neural Networks Time Series Forecasting with Android Live Wallpaper Technology. Proceedings of the International Conference Numerical Methods for Scientific Computations and Advanced Applications, 76--79, (2018). ISBN 978-954-91700-7-8
- [Tomov-07] Tomov, P., Zankinski, I., Balabanov, T.: Training of Artificial Neural Networks for Financial Time Series Forecasting in Android Service and Widgets. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 71, 50--56, (2019). ISSN 1314-409X
- [Tomov-08] Tomov, P.: Encog Gradient Training Algorithms Evaluation. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 77, 11--19, (2021). ISSN 2738-7356 DOI 10.7546/PECR.77.21.02

- [Velichkova-01] Velichkova, V., Tomov, P., Balabanov, T.: Incremental Sinusoidal Approximation of Time Series with LibreOffice Calc Solver. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 75, 43--50, (2021). ISSN 2738-7364 DOI 10.7546/PECR.75.21.05
- [Zankinski-02] Zankinski, I., Barova, M., Tomov, P.: Hybrid Approach Based on Combination of Backpropagation and Evolutionary Algorithms for Artificial Neural Networks Training by Using Mobile Devices in Distributed Computing Environment. Proceedings of 11th International Conference on Large-Scale Scientific Computations, 425--434, (2017). ISBN 978-3-319-73440-8 DOI 10.1007/978-3-319-73441-5

Abstracts of Dissertations

Number 5, 2022

INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES
BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

Брой 5, 2022

Автореферати на дисертации