



**JOHN ATANASOFF SOCIETY
OF AUTOMATICS AND INFORMATICS**

**JOHN ATANASOFF
CELEBRATION DAYS**

International Conference

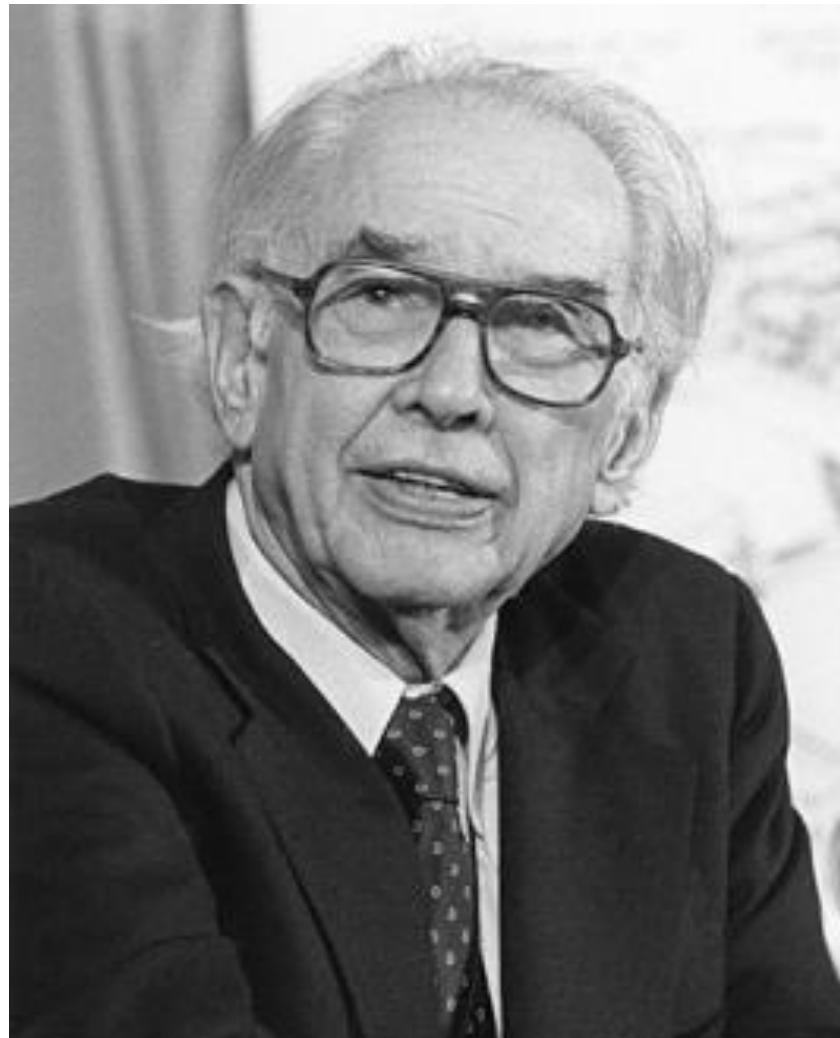
**AUTOMATICS AND
INFORMATICS'2016**

PROCEEDINGS

Bulgaria, Sofia, October 4 - 5, 2016

JOHN ATANASOFF SOCIETY OF AUTOMATICS AND INFORMATICS

Secretariat Adress
Bulgaria
1000 Sofia
108 Rakovsky str.
Tel. (+359 2) 987 61 69
Fax (+359 2) 987 61 69
e-mail: sai.bg.office@gmail.com
www.sai.bg



**FEDERATION OF THE SCIENTIFIC ENGINEERING UNIONS
JOHN ATANASOFF SOCIETY OF AUTOMATICS AND INFORMATICS
JOHN ATANASOFF CELEBRATION DAYS
UNDER THE AUSPICES OF THE PRESIDENT OF REPUBLIC BULGARIA
R. PLEVNELIEV**

**OCTOBER 4th - PROFESSIONAL DAY OF BULGARIAN SPECIALISTS
ON COMPUTERS, INFORMATION TECHNOLOGIES AND AUTOMATICS**

**INTERNATIONAL CONFERENCE
AUTOMATICS AND INFORMATICS'2016**
October 4-5, 2016, Sofia, Bulgaria

**FEDERATION OF THE SCIENTIFIC ENGINEERING UNIONS
JOHN ATANASOFF SOCIETY OF AUTOMATICS AND INFORMATICS**

JOHN ATANASOFF CELEBRATION DAYS

**INTERNATIONAL CONFERENCE
AUTOMATICS AND INFORMATICS'2016**

October 4-5, 2016, Sofia, Bulgaria

International Program Committee (IPC)

Honorary Chair - academician V. SGUREV

Honorary Chair - academician K. BOYANOV

Honorary Chair - academician M. HADJISKI

Chair of IPC Emil NIKOLOV

Vice Chair of IPC Krasimira STOILOVA

Vice-Chair of IPC for Industry Mr. Valeri ANDREEV, President of SAT - Bulgaria

Members

H.	ABOUAISSA	(FR)	M.	FLIESS	(FR)	P.	KOPACEK	(AT)	R.	PRECUP	(RO)
K.	ALEXIEV	(BG)	V.	GALABOV	(BG)	P.	K.-HRISTOVA	(BG)	J.	REVALSKI	(BG)
P.	ANGELOV	(UK)	E.	GARIPOV	(BG)	J.	KORBICZ	(PL)	J.	RICHALET	(FR)
K.	ATANASSOV	(BG)	A.	GEGOV	(UK)	A.	KORDON	(USA)	C.	ROUMENIN	(BG)
R.	BAZYLEVYCH	(UA)	G.	GONCALVES	(FR)	R.	KULHAVI	(CZ)	B.	SENDOV	(BG)
P.	BOROVSKA	(BG)	A.	GRANCHAROVA	(BG)	V.	LAZAROV	(BG)	I.	SIMEONOV	(BG)
F.	CAPKOVIC	(SI)	M.	HADJISKI	(BG)	M.	LUNGU	(RO)	A.	SMRIKAROV	(BG)
Z.	BUCEVAC	(RS)	M.	HRISTOV	(BG)	N.	LYUTOV	(BG)	G.	SPASSOV	(BG)
E.	SHOYKOVA	(BG)	N.	HRISTOV	(FR)	N.	MADJAROV	(BG)	M.	STANKOVSKI	(MK)
Z.	COJBASIC	(RS)	K.	ISHTEV	(BG)	S.	MARGENOV	(BG)	T.	STOILOV	(BG)
L.	DAKOVSKI	(BG)	R.	ILARIONOV	(BG)	E.	MARINOV	(BG)	S.	STOYANOV	(BG)
C.	DAMYANOV	(BG)	Z.	ILIEV	(BG)	M.	MIKHOV	(BG)	S.	STRMCNIK	(SI)
N.	DELIISKI	(BG)	D.	JOLLY	(FR)	M.	MLADEXOV	(BG)	R.	SUSTA	(SZ)
G.	DIMIROVSKI	(TR)	V.	JOTSOV	(BG)	V.	MLADEXOV	(BG)	K.	TENEKEDJIEV	(BG)
D.	DIMITROV	(BG)	I.	KALAYKOV	(SE)	N.	NEDIC	(RS)	A.	TOPALOV	(BG)
A.	DINIBUTUN	(TR)	D.	KARASTOYANOV	(BG)	T.	NENOV	(BG)	S.	TZONKOV	(BG)
I.	DUMITRACHE	(RO)	V.	KARASUK	(UA)	V.	NIKOLICH	(RS)	P.	TZVETKOV	(BG)
A.	ESKENAZI	(BG)	N.	KASABOV	(NZ)	A.	ORDYS	(UK)	E.	UYAR	(TR)
O.	FARHI	(BG)	O.	KAYNAK	(TR)	M.	PAPAGEORGIOU	(GR)	G.	VACHKOV	(JP)
D.	FILEV	(USA)	R.	KING	(GR)	P.	PETKOV	(BG)	T.	YONKOV	(BG)
F.	FILIP	(RO)	J.	KOCIJAN	(SI)	M.	PETROV	(BG)	S.	YORDANOVA	(BG)
F.	FILIPOV	(BG)	T.	K.-GUGULOVSKA	(MK)	I.	POPCHEV	(BG)	V.	ZAMANOV	(BG)

National Organizing Committee (NOC)

Chair Mirolub MLADEXOV

Vice Chair L. DOKOVSKA

Vice Chair A. TANEVA

Coordinator S. PENCHEV

Secretary Eugenie DIMITROVA

Members

V.	ANGELOV	G.	DRAGOV	E.	MONOVA	T.	SMRIKAROVA
I.	ANTONOVA	L.	DOUKOVSKA	N.	NIKOLOV	A.	TANEVA
D.	D.-TASHEVA	S.	ENEV	V.	NIKOV	T.	TITOVA
D.	DOBRUDGALIEV	S.	GILEVSKI	S.	PENCHEV	Y.	TODOROV
S.	DIMITROV	N.	HRISTOVA	T.	PENZOV	G.	VRAGOV
		E.	YONCHEV	P.	RUSKOV	A.	YONCHEV

**FEDERATION OF THE SCIENTIFIC ENGINEERING UNIONS
JOHN ATANASOFF SOCIETY OF AUTOMATICS AND INFORMATICS
JOHN ATANASOFF CELEBRATION DAYS**

**INTERNATIONAL CONFERENCE
AUTOMATICS AND INFORMATICS'2016**

October 4-5, 2016, Sofia, Bulgaria

Organized by



JOHN ATANASOFF SOCIETY OF AUTOMATICS AND INFORMATICS



FEDERATION OF THE SCIENTIFIC ENGINEERING UNIONS

Sponsored by



TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA



**UNIVERSITY OF CHEMICAL
TECHNOLOGY AND
METALLURGY**



**INSTITUTE OF INFORMATION
AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES**



**"ANGEL KANCHEV"
UNIVERSITY OF RUSE**

Honeywell

HONEYWELL BULGARIA



SYSTEMS AUTOMATION TECHNOLOGIES

JOHN ATANASOFF SOCIETY OF AUTOMATICS AND INFORMATICS
JOHN ATANASOFF CELEBRATION DAYS
INTERNATIONAL CONFERENCE
AUTOMATICS AND INFORMATICS'2016
October 4-5, 2016, Sofia, Bulgaria

Sponsored by



**BULGARIAN ASSOCIATION
OF INFORMATIONAL TECHNOLOGIES**



Bulgarian-German Innovative Company
Manufacturing Automation Devices for the Diecasting Industry



RITTAL Ltd.



SIEMENS



СЪДЪРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНИ СЕСИИ	15
1. М. Хаджийски	17
<i>Интегриране на елементи на изкуствения интелект в сложни индустриални системи за управление</i>	
2. П. Петков, Ц. Славов, Й. Кралев	23
<i>Вградено робастно управление</i>	
3. Т. Стоилов	25
<i>Елементи на теорията на управление в информационни и комуникационни технологии</i>	
НАУЧНИ СЕСИИ	27
1. 3. Златев, А. Димитрова, С. Байчева	29
<i>Колориметър базиран на едноплатков микрокомпютър и сензор за цветът</i>	
2. K. Kolchakov, V. Monov	33
<i>An Approach for Syntesis of Non-Conflict Schedule with Optimal Performance of Sub Matrices in a Crossbar Switching Node</i>	
3. N. Deliiski, N. Trichkov, Z. Gochev, D. Angelski	37
<i>Modeling of the Energy Needed for Warming up of Flat Wood Details during their Convective heating before Acquiring</i>	
4. N. Deliiski, N. Tumbarkova	41
<i>Applying of the Software Package Table Curve 2d for Computation of the Processing Air Medium Temperature during Freezing and Following Defrosting of Poplar Logs</i>	
5. Е. Димитрова, В. Димитров	45
<i>Системи за дистанционен мониторинг и управление на обекти в железопътния транспорт</i>	
6. Т. Балабанов, К. Генова	49
<i>Разпределена система за обучение на изкуствени невронни мрежи, базирана на мобилни устройства</i>	
7. T. Pehlivanova, Z. Zlatev, A. Dimitrova	53
<i>Improvement of Energy Efficiency of a Small Household Appliance</i>	
8. Камен Перев	57
<i>Ортогонална апроксимация на някои операторни норми върху хилбертови векторни пространства</i>	
9. М. Сестримска, Т. Титова, В. Начев, Ч. Дамянов	61
<i>Невронен класификатор за билков чай с различни съставки и произход. Част I</i>	
10. М. Сестримска, Т. Титова, В. Начев, Ч. Дамянов	65
<i>Невронен класификатор за билков чай с различни съставки и произход. Част II</i>	

11.	Manafeddin Namazov, Abbas Alili	69
	<i>Stable and Optimal Controller Design for Takagi-Sugeno Fuzzy Model Based Control Systems via Linear Matrix Inequalities</i>	
12.	R. Trifonov, G. Pavlova, I. Pavlov	73
	<i>Models of Intelligent Behavior of Walking Robot Moving on Slopes and Stairs</i>	
13.	М. И. Младенов	77
	<i>Определяне на времето на съхранение на хранителни продукти посредством предсказващи модели и невронни мрежи</i>	
14.	В. Лаков, Е. Чорукова, И. Симеонов	81
	<i>Екстремално управление на каскада от два анаеробни биореактора за получаване на водород и метан</i>	
15.	Г. Георгиева-Цанева, К. Чешмеджиев	87
	<i>Приложение на уейвлет анализа за определяне на хърст експонента при вариабилността на сърдечната честота</i>	
16.	Г. Георгиева-Цанева, К. Чешмеджиев, И. Домусчиев	91
	<i>Линейни и нелинейни методи за анализ на вариабилността на сърдечната честота</i>	
17.	К. Чешмеджиев, Г. Георгиева-Цанева, Е. Господинова, М. Господинов	95
	<i>Анализ на вариабилността на сърдечната честота във времевата област</i>	
18.	Г. Георгиева-Цанева	99
	<i>Приложение на уейвлет теорията за анализ на цифрови ЕКГ данни</i>	
19.	К. Павлова, Т. Стоилов	103
	<i>Приложение на задачата за максимален поток при проектиране на железопътна транспортна схема</i>	
20.	A. Lekova, D. Ryan, R. Davidrajuh	107
	<i>Fingers and Gesture Recognition with Kinect V2 Sensor</i>	
21.	A. Lekova, A. Krastev, I. Chavdarov	111
	<i>Wireless Kinect-Nao Framework Based on Takagi-Sugeno Fuzzy Inference System</i>	
22.	V. Dimitrov, M. Penev, I. Kurtev	117
	<i>Mobile IP Calculator</i>	
23.	D. Ivanova, N. Valov, D. Ilieva	121
	<i>Comparative Analysis of Artificial Neural Network and Mathematical Models for Apricots Drying</i>	
24.	В. Алексиева	125
	<i>Симулационна среда за реализация на приоритетно базирана ZIGBEE мрежа</i>	
25.	П. Томов, В. Монов	129
	<i>Изкуствени невронни мрежи и еволюция на разликите, използвани за прогнозиране на времеви редове в разпределена среда</i>	
26.	Т. Стоилов, К. Стоилова	133
	<i>Аналитично решаване на двуъмерархични оптимизационни задачи</i>	

27. Е. Оцетова-Дудин, И. Куртев, С. Сярова	139
<i>Симулационен алгоритъм за определяне броя на необслужените по- виквания при прехвърляне на сигнала в широколентови клетъчни мрежи</i>	
28. Vassil Sigurev, Stanislav Drangajov	143
<i>Two Stage Method for Network Flow Control of Resources and the Risks Related to Them</i>	
29. Mariana Tsv. Stoeva, Violeta T. Bozhikova, Geo V. Kunev	149
<i>An Approach in Biometrical and Medical Image Databases</i>	
30. A. Papapostolu, D. Birov	153
<i>Dynamic Reconfiguration Statements and Architectural Elements in jADL</i>	
31. Г. Менгов, А. Герунов, М. Киряков	159
<i>Икономически решения във виртуална социална мрежа</i>	
32. Ю. Алексиева, Х. Вълчанов	163
<i>Симулатор на ботнет DOS атаки в мрежова среда</i>	
33. В. Луков, М. Александрова, Н. Николов	167
<i>Многомоделно модално размито управление на едномерен нелинеен обект</i>	
34. В. Христов, К. Калчев	171
<i>Моделно предсказващо управление на постояннотоково сервозад- вижване</i>	
35. В. Христов	175
<i>Имплементация на датчик на ток на постояннотоково сервозад- вижване ИНТЕКО - 1 Част</i>	
36. В. Христов	179
<i>Имплементация на датчик на ток на постояннотоково сервозад- вижване ИНТЕКО - 2 Част</i>	
37. Е. Николов, Н. Николова, Б. Грасиани	183
<i>Аналитично моделиране, изследване и управление на физически ла- бораторен FESTO-модел на технологична инсталация-част 1 (мо- делиране и анализ)</i>	
38. Е. Николов, Н. Николова, Б. Грасиани	191
<i>Аналитично моделиране, изследване и управление на физически ла- бораторен FESTO-модел на технологична инсталация-част 2 (син- тез на управление)</i>	
39. Velichko Dzhambov, Vassil Sigurev, Stanislav Drangajov	197
<i>Quick Computation of Definite Integrals with High Precision, Using the Multi-Core Architecture of Modern Processors</i>	
40. Е. Шалганов, Н. Мандев, В. Петрова, А. Грънчарова	201
<i>Синтез на явен моделно предсказващ регулатор за поддържане на температурата в резервоар</i>	
41. С. Йорданов, Г. Михалев	205
<i>Синтезиране на робастно управление на захранващи и ориенти- ращи модули</i>	

42. Е. Гарипов	211
	<i>Влияние на подходи за идентификация на динамични обекти върху поведението на системи за управление с обобщени предсказващи регулатори</i>
43. Margarita Dikova, Kiril Alexiev	215
	<i>Modeling and Estimation of CO₂ Emissions from Passenger Cars</i>
44. I. Ganchev, S. Ahmed, A. Taneva, M. Petrov	219
	<i>Decoupling Fuzzy-Neural PID Controller for Tito Nonlinear Plants</i>
45. I. Ganchev, D. Vrančić	223
	<i>Automatic Control Aspects of the Czochralski Crystal Growth Process</i>
46. L. H. Lahtchev	227
	<i>Computer Based Modelling the Verification of Electric Sphygmomanometer</i>
47. A. Tanev, P. Mitsev, T. Lazarova	231
	<i>Challenging Sensing Solutions Designed by Sensata Bulgaria</i>
48. В. Узунов	235
	<i>Един начин за настройка на размит PD регулатор реализиран с PLC</i>
49. D. Tsankova and S. Lekova	239
	<i>Hybrid Chaotic Search Algorithm with Gradient Descent Technique for Global Optimization</i>
50. St. Penchev	243
	<i>Development of a Software Package for Classification of Meat and Meat Products Presented by Spectrophotometric Data</i>
51. Jong-in Choi, Petko Ruskov, Sia Tsolova	247
	<i>Roadmap Design for Technology and Entrepreneurship Commercialization in Bulgaria</i>
52. G. Novakova, K. Spassov, G. Dimitrov	251
	<i>Are Lessons Learned: Bulgarian Experience in E-Government</i>
53. Stoyan Panov, Petko Ruskov	255
	<i>Score Model for Technology Appraisal of Bulgarian Start-Ups</i>
54. А. Атанасов, В. Кузманова	259
	<i>Система за управление на изискванията при разработката на софтуерни проекти</i>
55. V. Jordanova	263
	<i>Operational Results of CSM for Freeway Ramp Metering</i>
56. S. Vasileva	267
	<i>GPSS World Extended Editor's Opportunities to Simulate Hotel Revenue Management Systems</i>
57. Kosta Boshnakov, Chong Li, Liping Fan	271
	<i>Model-Based Diagnosis of Faults in Microbial Fuel Cells</i>
58. Рени Антонова-Борисова, Петко Русков	277
	<i>Анализ на иновативните информационни технологии за отворени данни в зависимост от веригата за добавяне на стойност</i>

59. Минчо Хаджийски, Коста Бошнаков.....	283
<i>Обобщена интелигентна система за предсказващо техническо поддържане - част I</i>	
60. Минчо Хаджийски, Коста Бошнаков.....	289
<i>Обобщена интелигентна система за предсказващо техническо поддържане - част II</i>	

ИЗКУСТВЕНИ НЕВРОННИ МРЕЖИ И ЕВОЛЮЦИЯ НА РАЗЛИКИТЕ, ИЗПОЛЗВАНИ ЗА ПРОГНОЗИРАНЕ НА ВРЕМЕВИ РЕДОВЕ В РАЗПРЕДЕЛЕНА СРЕДА

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND DIFFERENTIAL EVOLUTION USED FOR TIME SERIES FORECASTING IN DISTRIBUTED ENVIRONMENT

П. Томов, В. Монов

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките, ул. "акад. Георги Бончев", бл. 2, София 1113, тел. +359 2 9793237, e-mail: petyr.tomov@gmail.com

Abstract: This study will present a model for time series forecasting. The model consists of Artificial Neural Networks (ANN) trained with Differential Evolution (DE). The training is done in distributed computational environment. Time series forecasting is a complex process and demand development of effective and faster algorithms. The core of the model is ANN, which is fed with historical data. Selection of appropriate ANN training algorithm is a major problem in this forecasting approach. Two general possibilities are commonly used - exact numeric optimization methods and heuristic optimization methods. According to the heuristic applied, training can be done as distributed computing. In this case the output is much faster and more realistic, which helps to achieve better forecast.

Key words: forecasting, ANN, DE, distributed computing

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Прогнозирането на времеви редове е процес на прогнозиране на бъдещите стойности в серия от данни, базирани на техните известни стойности в предходните моменти. Лицата, вземащи решения (ЛВР), са в позицията да предприемат много отговорни стъпки при формирането на стратегия и посемането на отговорност за взетите решения. Това най-вече важи при процесите за вземане на инвестиционни решения. Да се инвестира, това означава да се поема приемлив риск с очакване на определена печалба. Най-важният аспект на инвестициите е балансът между приема на риска и очакваната печалба. На валутния пазар (FOREX) основната търговия се извършва чрез обмен на валута. Валутите са най-волатилни по отношение на промяна в цената. По време на търговия, на такъв пазар като FOREX, трябва да се вземат три важни решения: 1. Цената ще тръгне нагоре или надолу; 2. Какъв е обемът за покупка или продажба; 3. Колко дълго да се запази отворена позиция. Дори и да звуци просто, в действителност е много трудно да се прецени смяната на посоката в цената, защото огромното количество фактори влияят върху него. Обемът на поръчката е пряко свързан с размера на посемания риск. Големият обем може да доведе до висока печалба, но ако посоката на цената се окаже неправилна, това може да причини големи загуби. Ако една позиция се запази по-дълго отворена, печалбата може да стане по-голяма или загубата да бъде възможно най-малка. Финансовото прогнозиране е най-важно за търговците на валутния пазар, поради високата динамика на цената.

Разработването на ефективни и надеждни финансови прогнози е трудна и сложна задача. Следователно, областта е от голямо значение за развитието и използването на самоорганизации се и самостоятелно обучаващи се системи за прогнозиране. Прилагането на ИНМ за прогнозиране на времеви редове в областта на

икономиката е разглеждано от различни автори, например Dunis [1], Giles [2] и Moody [3]. Един общ метод използва така наречените Feed Forward Neural Networks (FFNN) (Haykin [4]). Мрежите от типа FFNN са много ефективни, но имат основен недостатък, а именно на тях им липсва краткосрочната памет. Този проблем може да се избегне чрез използване на така наречените Recurrent Neural Networks (RNN). RNN, от своя страна, водят до трудности поради своята сложност при обучението с точни числени методи. (Werbos [5]). Възможно решение е комбиниран подход за обучение на ИНМ от еволюционни алгоритми. Той е предложен от Yao [6] и няколко други автори. Еволюционните алгоритми показват значително по-добри резултати за оптимално търсене на сложни многомерни пространства с присъствието на много локални оптимуми. В тези случаи градиент-базирани методи са склонни да се блокират. (Holland [7]).

В настоящето изложение е предложен модел за прогнозиране на времеви редове с помощта на самообучаваща се система. Системата се основава на изкуствени невронни мрежи (ИНМ) и оптимизационен алгоритъм за еволюция на разликите (EP). Изчисленията се извършват в разпределена среда.

Изложението е организирано както следва: Раздел 2 дефинира проблема за прогнозиране на времеви редове и дава насоки за подходите, използвани при решаването му. Раздел 3 представя модела, основан на ИНМ и EP, като се засягат особеностите на алгоритмите, стоящи зад тях. Раздел 4 излага възможности за бъдещо развитие, даващо достатъчно насоки за доразвиване на изложените идеи. Раздел 5 представлява обобщение и заключение.

2. ОПИСАНИЕ НА ПРОБЛЕМА

В областта на прогнозирането на времеви редове има няколко специфични аспекти. Като начало, има поредица

от стойности със зависимости по оста на времето (времестойност двойки). Стойностите във времевите редове не са независими стойности. Тези стойности са свързани помежду си по такъв начин, че по-новите стойности са следствие от по-старите. Например - курсът между EUR и USD. Изключително необичайно е отношението между тези две валути да се различават драстично в два последователни търговски дни. Съотношението между двете валути се променя плавно, но постоянно. Това отношение най-силно се влияе от процесите за търговия между Европа и САЩ.

Проблем при прогнозирането на финансови времеви редове е, знаеики последните стойности на цените, да се разработи прогнозен модел и с помощта на този модел да се оценяват бъдещите стойности на цените. При достатъчно надежден модел, прогнозираните стойности могат да бъдат използвани от ЛВР, за намаляване на инвестиционния риск.

ИНМ е математически модел на естествените невронни мрежи. Тя се състои от изкуствени неврони с набор от връзки между тях. Информацията се обработва от влизането в мрежата и се предава към вътрешните слоеве (неврони) до изхода. ИНМ са проектирани да бъдат самостоятелно адаптивни системи, способни да променят своята вътрешна структура на базата на външна или вътрешна информация, която постъпва по време на обучението. ИНМ се използват за моделиране на сложни връзки между входове и изходи (functional relation) или откриване на зависимост в набор от данни (data mining).

Идеята на ИНМ е вдъхновена от биологичната нервна система, разчитаща на неврони, аксони, дендрити и синапси. Обикновено ИНМ се състои от мрежа прости елементи за обработка, които заедно определят сложно глобално поведение, реализирано от връзките между елементите. От практическа гледна точка, ИНМ използва алгоритми за промяна на силата (тежестта) на връзките, за да се постигне желания поток на сигнали в мрежата.

ИНМ са доста подобни на естествените невронни мрежи по начина, по който отделните елементи обработват в паралел информацията. В модерните компютри ИНМ се съчетават с неадаптивни методи за постигане на по-добри практически резултати. Основното предимство на ИНМ е способността им да се „научи“ функция чрез наблюдение на конкретно подадени примери. Това е особено полезно, когато сложността на изследвания процес (или неговите данни) прави съставянето на такава функция, на ръка, твърде трудно.

ЕР е метод от популационните, еволюционни евристики за глобална оптимизация. Основата на ЕР е разработена от Kenneth Price и Rainer Storn[8] и тя се основава на класически генетични алгоритми (ГА). Евристика, като ЕР, не гарантира, че оптималното решение ще се намери. ЕР се използва при изследването на сложни за търсене пространства (в общия случай многомерни). ЕР може да се прилага предимно в непрекъснати проблеми (проблеми с реални числа). По-малко приложима е в целочисленi проблеми, въпреки че не се изисква целевата функция да е диференцируема (условие, което е често изисквано в точните методи за оптимизация).

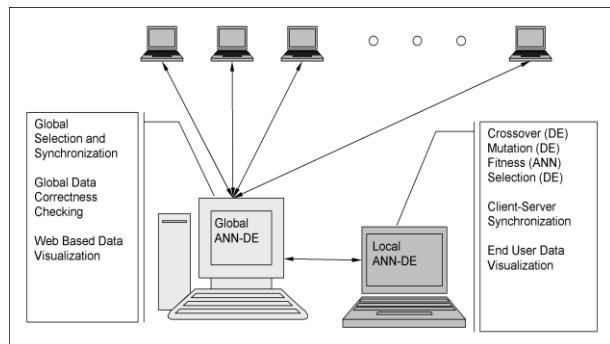
Подобно на класическите ГА, ЕР използва населението на кандидат-решенията и създава нови кандидат-решения. Това става чрез комбиниране на съществуващи такива, в съответствие с правилата на кръстосване, мутация и селекция (най-добрите кандидати оцеляват през поколени-

ята, съгласно стойностите на функцията за жизнеспособност). При оценяване на стойностите от целевата функция и избора на най-добрите кандидати, не е необходимо да се използва градиент.

При сравнение между ЕР и ГА основната разлика е в оператора мутация. При ЕР мутацията се основава на претеглен вектор-разлика. Това прави мутацията много по-ефективна от тази, използвана в ГА. На практика се получава промяна на всяка стойност на конкретния индивид в популацията. Недостатък на претегления вектор-разлика е трудността да се приложи при работата с целочислени стойности.

3. ОПИСАНИЕ НА МОДЕЛА

Предложеният математически модел е базиран на стандартна ИНМ и комбинирано обучение с ЕР, и обратно разпространение на грешката (ОРГ). Топологията на ИНМ е въпрос на изследователски интерес. Поради тази причина, топологията на мрежата се определя ръчно на отдалечения сървър. Връзките между невроните могат да бъдат - само напред, напред-назад и дори пълно-свързан (свързан с всички други неврони и със себе си). Невроните в модела използват линейна функция на активация и сигмоидална предавателна функция.

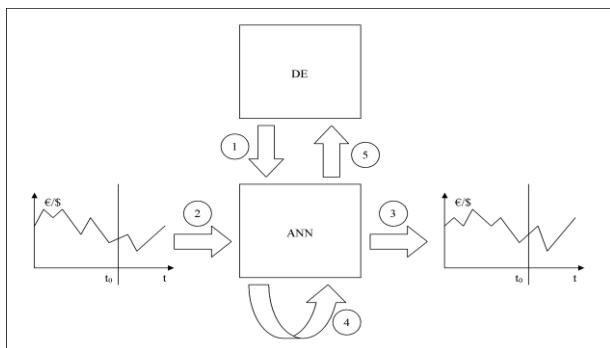


Фиг.1 – Концептуален модел на системата.

В ЕР, като вариация на генетичните алгоритми (ГА), всяка хромозома представя един набор от тежести за определена топология ИНМ. Както е показано на Фиг.1, при глобалната ЕР популация е представена на отдалечения сървър.

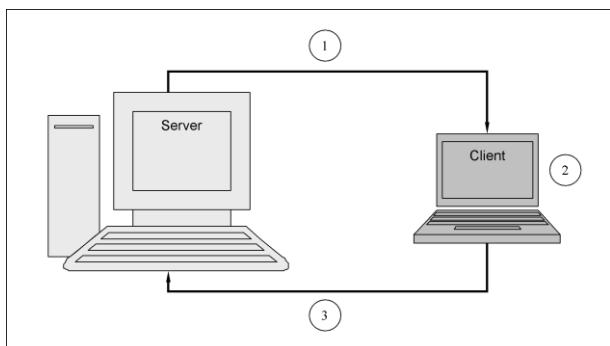
На всеки изчислителен възел (компютър клиент) се зарежда подмножество от глобалната популация (етап 1 на Фиг. 3). Последва извършване на локално, ЕР-ОРГ базирано, ИНМ обучение (стъпка 2 на Фиг. 3). На редовни интервали локалните компютри се свързват към отдалечения сървър. По време на тази връзка, локалната популация се обновява и локално получените оптимални стойности се докладват (стъпка 3 на Фиг. 3).

Поради високата степен на паралелизъм, ЕР няма теоретична граница за брой изчислителни възли. Като техническото ограничение (тясното място на системата) е отдалеченият сървър. Техническото ограничение на едновремените свързани клиенти е границата на сървъра. За сметка на това, не е необходимо всеки клиент да има постоянна връзка с отдалечения сървър. По този начин техническото ограничение лесно се преодолява. Всеки отдалечен изчислителен възел може да изчислява седмици и дори месеци наред, преди да се направи връзка със сървъра.



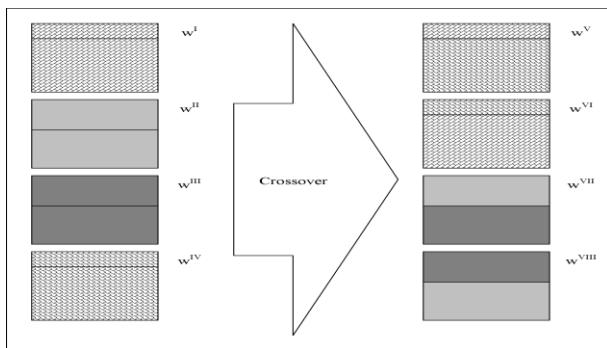
Фиг.2 – Обучение на ИНМ, базирано на ЕР.

Както е описано на Фиг. 2, еволюцията на разликите е процес на обучение, който се състои от пет основни стъпки: 1. Зареждане набор от тегла (хромозома) в ИНМ; 2. Зареждане на примерни за обучение в ИНМ; 3. Изчисляване на прогнози; 4. Изчисляване на общата допусната прогнозна грешка (по-стари данни имат по-малко въздействие върху изчислената грешка); 5. Оценка на жизнеността на хромозомата. Всеки набор от тегла (хромозоми) се зарежда в ИНМ, след това всички входни стойности се разпространяват в мрежата. Всички стойности в изхода на мрежата се сравняват с очакваните стойности и тази разлика се използва за образуване на общата грешка, постигната при конкретен набор от тегла. Изчислената общая грешка се използва, като стойност на жизнеспособност в ЕР популацията. Основната цел на ЕР базираната оптимизация е да се сведе до минимум общата грешка, допускана от ИНМ. Тъй като процесът на обучение е в реално време (нови данни постъпват постоянно), то минимизирането на грешки е непрекъснат процес.

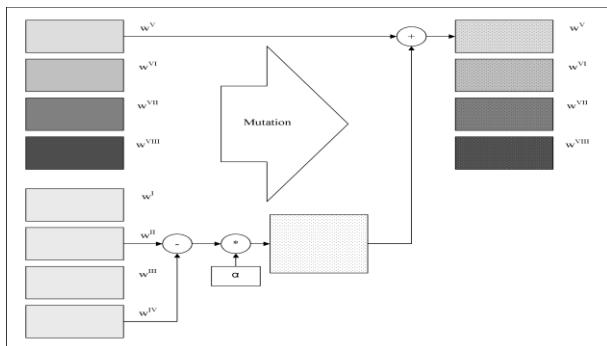


Фиг.3 – Изчисленията се извършват на локалната машина, като сървъра единствено разпределя задачите.

Всички изчисления се правят локално, както е показано на Фиг. 3. Локалните изчисления се състоят от ЕР базирано обучение - кръстосване и мутация. И двете операции се извършват, както е илюстрирано на Фиг. 4 и Фиг. 5. Избират се родителски хромозоми за кръстосване, като изборът се извършва по правило, както е в класическите ГА. Операцията за кръстосване се счита за разрушителна в процеса на обучение на ИНМ. Поради тази причина, кръстосването се регулира като параметър. След кръстосването се извършва мутация. Класическа мутация при ЕР е suma между модифицираната хромозома и претеглен вектор-разлика (разлика между други две произвольно избрани хромозоми, умножен по коффициент за тежест).

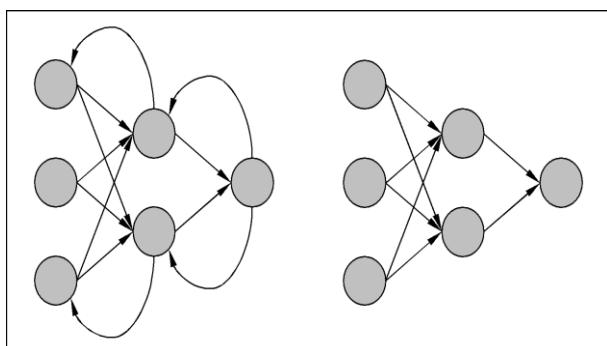


Фигура 4 – Процедура за кръстосване при метода за Еволюция на разликите.



Фиг.5 – Процедура за мутация при метода за Еволюция на разликите.

За паралелно обучение, копия на ИНМ се изпращат до всеки локален изчислителен възел. Проблемът с бавна скорост на обучение, когато ИНМ се обучава с ЕР, може да бъде решен чрез периодично превключване към обучение с ОРГ. Този процес се извършва чрез отстраняване на всички обратни връзки, както е илюстрирано на Фиг. 6.



Фиг.6 – Подход за изключване на обратните връзки, когато се извършва хибридно обучение с ЕР и ОРГ.

Нивото на сходимост при обучението може да се използва като индикатор за превключване между ЕР и ОРГ. ОРГ може да се приеме като по-особен вариант за мутация.

4. БЪДЕЩИ РАЗРАБОТКИ

С предложния модел изследвания може да се направят в следните направления: 1. Анализ на ускорението от паралелно пресмятане; 2. Изучаване на променливи топологии на ИНМ; 3. Изследване на различни възможности за представяне на входно-изходната информация; 4. Глобална реализация на ЕР при подбор на

популация за локално обучение на ИНМ. Увеличаването на броя изчислителни възли не винаги е гаранция, че резултатите ще се получат по-бързо. Това е предмет на допълнителни изследвания, как точно паралелното смятане се отразява в сходимостта на обучението. Стандартно е обучението на ИНМ с фиксирана топология. От изследователски интерес е как процесът на обучение може да бъде променен, така че да се приложи над ИНМ с променяща се топология. Добре известно е, че по-малките ИНМ се обучават по-бързо от по-големите. Ако се въведе правило за нарастване на мрежата, може да се получи по-добра сходимост на обучението. Представянето на информацията на входа на ИНМ влияе сериозно на топологията и размера на мрежата. По-добро представяне на информацията може да доведе до по-малък ИНМ и по-добра сходимост при обучение. В разпределените изчисления разделянето на изчислителните задачи в няколко части дава допълнителни възможности. В случай на ЕР съществено е как ще се контролира глобалната популация и правилата, по които се формират локалните популации. Много важен параметър за разследване е колко често локалните популации да бъдат синхронизирани с глобалната. При реализацията на разпределените изчисления, за обучение на ИНМ с ЕР, би било интересно да се експериментира методът за инцидентно включване и изключване на възли, описан в [9][10].

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЕР, като алгоритъм за обучение, предпазва ИНМ от катастрофално забравяне. Също така, ЕР позволява обучение на ИНМ с обратни връзки. Не представлява проблем, ако обучаващите примери се подават в последователен ред. Няма ограничения за броя паралелни процеси при обучението. Злонамерените изчислителни възли (потребители, които злонамерено модифицират резултатите от изчисленията) не са проблем, те са дори предимство, тъй като биха направили ЕР популациите още по-богати, като генотип. Основният недостатък на ИНМ, използвани за прогнозиране на времеви редове, е бавното темпо на обучение. С използването на разпределени изчисления процесът на обучение става значително по-ефективен. От икономическа гледана точка, чрез използването на добре организиран (маломощен), централизиран сървър, може да се постигне изчислителната мощност на супер компютър.

БЛАГОДАРНОСТИ

This work was supported by private funding of Velbazhd Software LLC.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dunis, C.L. & Williams, M., Modelling and trading the eur/usd exchange rate: Do neural network models perform better? *Derivatives Use, Trading and Regulation*, 8(3), pp. 211--239 (2002)
2. Giles, C.L., Lawrence, S. & Tsoi, A.C., Noisy time series prediction using a recurrent neural network and grammatical inference. *Machine Learning*, 44(1/2), pp. 161--183 (2001)
3. Moody, J.E., Economic forecasting: Challenges and neural network solutions. *Proceedings of the International Symposium on Artificial Neural Networks, Hsinchu, Taiwan* (1995)
4. Haykin, S., *Neural Networks, A Comprehensive Foundation*. Prentice-Hall, Inc., 2nd edition (1999)
5. Werbos, P., Backpropagation through time: what it does and how to do it. *Proceedings of the IEEE*, 78(10), pp. 1550--1560 (1990)
6. Yao, X., Evolving artificial neural networks. *Proc of the IEEE*, 87(9), pp. 1423--1447 (1999)
7. Holland, J., *Adaptation In Natural and Artificial Systems*. The University of Michigan Press (1975)
8. Storn, R.; Price, K. Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization* 11, 341--359 (1997)
9. Balabanov, T., Zankinski, I., Barova, M., Strategy for Individuals Distribution by Incident Nodes Participation in Star Topology of Distributed Evolutionary Algorithms, *Cybernetics and Information Technologies*, Vol. 16 No 1, ISSN: 1314-4081, 2016.
10. Balabanov, T., Zankinski, I., Barova, M., Distributed Evolutionary Computing Migration Strategy by Incident Node Participation, *International Conference on Large-Scale Scientific Computing*, 10th International Conference, LSSC 2015, Sozopol, Bulgaria, June 8-12, ISBN 978-3-319-26519-3, pp. 203-209, 2015.