

## РЕЗЮМЕТА НА НАУЧНИТЕ ПУБЛИКАЦИИ НА БЪЛГАРСКИ И АНГЛИЙСКИ – Група В

на доц. Петя Копринкова-Христова

### *С импакт фактор*

**Q1.1. Oubbati, M., Kord, B., Koprinkova-Hristova, P., Palm, G., Learning of embodied interaction dynamics with recurrent neural networks: Some exploratory experiments (2014) Journal of Neural Engineering, 11 (2), art. no. 026019.**

The new tendency of artificial intelligence suggests that intelligence must be seen as a result of the interaction between brains, bodies and environments. This view implies that designing sophisticated behaviour requires a primary focus on how agents are functionally coupled to their environments. Under this perspective, we present early results with the application of reservoir computing as an efficient tool to understand how behaviour emerges from interaction. Specifically, we present reservoir computing models, that are inspired by imitation learning designs, to extract the essential components of behaviour that results from agent–environment interaction dynamics. Experimental results using a mobile robot are reported to validate the learning architectures.

*Новата тенденция в изкуствения интелект предполага, че интелигентността може да се разглежда като резултат от взаимодействие между мозъци, тела и околна среда. Тази гледна точка предполага, че създаването на сложно поведение изисква специално внимание да бъде насочено към изследвания как агентите се свързват функционално с околната среда. В такава перспектива ние представяме първите резултати на приложението на резервоарните изчисления като ефективно средство за разбиране на възникването на поведение в следствие на взаимодействие. По-специално, ние представяме резервоарни изчислителни модели, които са инспирирани от методите на имитационното обучение, за извличане на съществените компоненти на поведението, възникващо като резултат на динамиката на взаимодействието агент – околна среда. Докладвани са експериментални резултати от използването на мобилен робот, които валидират обучаващата се архитектура.*

**Q2.1. Koprinkova-Hristova, P., Oubbati, M., Palm, G., Heuristic dynamic programming using echo state network as online trainable adaptive critic (2013) International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, 27 (10), pp. 902-914.**

The present paper proposes an implementation of a relatively new recurrent neural network architecture - the echo state network (ESN) - within the frame of heuristic dynamic programming. The ESN is trained online to estimate the utility function and to adapt the control policy of an embodied agent. With the advantage of an easy training algorithm, the ESN architecture offers a simple way to calculate the derivatives required for adapting the controller. Experimental results are provided to validate the proposed learning approach.

*Настоящата статия предлага приложение на една сравнително нова рекурентна невронна мрежа – тип „ехо“ (ESN) – в рамката на евристичното динамично програмиране. ESN е обучена в реално време да оценява функцията на полезност и да адаптира стратегията на управление на мобилен агент. Поради предимството*

## Резюмета – група В

*на лесния си алгоритъм за обучение, ESN архитектурата предлага и лесен начин за изчисляване на производните, необходими за адаптация на регулатора. Представени са експериментални резултати, валидиращи предложения подход за обучение.*

### *C SJR ранг*

**SJR.1. Koprinkova-Hristova, P., Three approaches to train echo state network actors of adaptive critic design (2016) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 9886 LNCS, pp. 494-501.**

The paper compares three approaches to train Echo state network (ESN) actors of Adaptive Critic Design (ACD): the classical gradient-based learning rule and two associative learning rules. First associative rule exploits the Hebbian learning law of the Adaptive Search Element from the seminal paper of Barto et al., while the second one uses the Temporal Difference (TD) error for both critic and actor elements. The proposed learning approaches were applied to optimization of a complex nonlinear process for bio-polymer production. The comparison of the obtained results was done with respect to the convergence speed as well as to the reached local optima.

*Статията сравнява три подхода за обучение на невронни мрежи тип „ехо“ (ESN) в ролята на актьор в схема за адаптивна критика (ACD): класически градиентен алгоритъм и два асоциативни обучаващи подхода. Първото асоциативно правило използва закона на Хеб за обучение на адаптивния търсец елемент от основополагащата статия на Barto et al., докато втория метод използва метода грешката на времевата разлика (TD) както за критиката, така и за актьора. Предложените методи за обучение са приложени за оптимизацията на сложен нелинеен процес за производство на био-полимер. Сравнението на получените резултати е по отношение на скоростта на сходимост, както и според достигнатия локален екстремум.*

**SJR.2 Koprinkova-Hristova, P., Hebbian versus gradient training of ESN actors in closed-loop ACD (2015) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 8962, pp. 95-102.**

The present work continues investigations on combination between Adaptive Critic Design (ACD) approach - a gradient-based optimization technique - and a more biologically plausible associative or Hebbian learning. Echo state network (ESN) was used as adaptive critic element that was trained minimizing temporal difference error. While in the previous work the actor was a time profile of the action variable, here investigations are extended to the closed loop (feedback) control scheme. The actor is another ESN network and its inputs are some of the process state variables while its output is the value of the controlled variable. The only trainable connections of the actor - from its reservoir to the readout - are trained to minimize (maximize) the critic output. Comparison between backpropagation of utility approach that is gradient descent algorithm and a Hebbian learning law is made. These two approaches are tested on a task for optimization of a complex nonlinear process for bio-polymer production. The obtained results are compared with respect to the convergence speed as well as to the obtained solution, i.e. reached local optima.

## Резюмега – група В

*Настоящата работа продължава изследването на комбинацията на метода на адаптивната критика (ACD) – един градиентен оптимизационен подход – и биологично обоснования асоциативен закон за обучение на Хеб. В ролята на адаптивна критика е използвана невронна мрежа тип „ехо“ (ESN), която се обучава минимизирайки грешката на времевата разлика (TD). Докато в преходната работа актьорът беше времеви профил на управляващата променлива, тук изследването е разширено до схема за управление със затворена обратна връзка. Актьорът е друга ESN и нейните входове с някои от променливите на състоянието на процеса, докато на изхода му е стойността на управляваната променлива. Единствените обучавани връзки от актьора – от неговия резервоар до изходния слой – се настройват да минимизират (максимизират) изхода на критиката. Направено е сравнение с метода на обратното разпространение на целевата функция, който е градиентен алгоритъм със закона за обучение на Хеб. Тези два подхода са тествани върху задачата за оптимизация на сложен нелинеен процес за производство на био-полимер. Получените резултати са сравнени по отношение на скоростта на сходимост, както и според полученото решение, т.е. достигнатия локален екстремум.*

**SJR.3. Koprinkova-Hristova, P., Alexiev, K., ACD with ESN for tuning of MEMS Kalman filter (2015) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 9374, pp. 226-233.**

In the present work we designed a neuro-fuzzy approach for on-line optimal tuning of a Kalman filter of a gyroscope within a Micro Electro Mechanical Sensor (MEMS) device. It consists of Adaptive Critic Design (ACD) scheme in which the controller (a Fuzzy Rule Base (FRB) designed to adapt the measurement noise covariance matrix of a Kalman filter) is tuned using only information about the direction to which the estimation error changes (increase or decrease). A novel fast training dynamic neural network structure - Echo state network (ESN) – was used in the role of the critic element. Application to data collected from real MEMS demonstrated the ability of the proposed approach to tune Kalman filter and improve the quality of its estimates in changing working conditions of the MEMS in real time.

*В представена работа сме проектирали един невро-размит подход за оптимална настройка в реално време на филтър на Калман за жиро-скоп в микро-електро-механичен (MEMS) сензор. Той се състои в схема на адаптивната критика (ACD), в която регулаторът (база размити правила (FRB), проектиран да адаптира ковариационната матрица на шумът в измерванията на филтъра на Калман) се настройва използвайки само информацията за посоката на изменение на грешката на оценката (нарастване или намаляване). Една нова бързо обучаваща се структура на невронна мрежа – тип „ехо“ (ESN) – е използвана в ролята на елемента критика. Приложението към данните, събрани от реален MEMS, демонстрира способността на предложения подход да настройва филтъра на Калман и да подобрява качеството на неговите оценки в променливи работни условия на MEMS в реално време.*

**SJR.4. Koprinkova-Hristova, P., Kostov, G., Popova, S., Intelligent optimization of a mixed culture cultivation process (2015) International Journal Bioautomation, 19, pp. S113-S124. ISSN: 13141902.**

## Резюмега – група В

In the present paper a neural network approach called “Adaptive Critic Design” (ACD) was applied to optimal tuning of set point controllers of the three main substrates (sugar, nitrogen source and dissolved oxygen) for PHB production process. For approximation of the critic and the controllers a special kind of recurrent neural networks called Echo state networks (ESN) were used. Their structure allows fast training that will be of crucial importance in on-line applications. The critic network is trained to minimize the temporal difference error using Recursive Least Squares method. Two approaches – gradient and heuristic – were exploited for training of the controllers. The comparison is made with respect to achieved improvement of the utility function subject of optimization as well as with known expert strategy for control the PHB production process.

*В настоящата статия един подход с невронни мрежи, наричан „метод на адаптивната критика“ (ACD), е приложен за оптимална настройка на заданията на регулаторите на три основни субстрата (захари, азотен източник и разтворен кислород) за процеса на производство на PHB. За апроксимация на критиката и регулаторите е използван един специален вид рекурентни невронни мрежи наричани тип „ехо“. Тяхната структура позволява бързо обучение, което от съществено значение за приложенията в реално време. Мрежата критика се обучава да минимизира времевата разлика на грешката използвайки рекурсивния метод на най-малките квадрати. Два подхода – градиентен и евристичен – са приложени за обучението на регулаторите. Направено е сравнение по отношение на подобрението на функцията на полезност, която е обект на оптимизацията, както и с известна експертна стратегия за управление на процеса за получаване на PHB.*

**SJR.5. Koprinkova-Hristova, P., Adaptive critic design and heuristic search for optimization (2014) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 8353 LNCS, pp. 248-255.**

The main aim of the present work is to combine Adaptive Critic Design (ACD) approach that falls with the gradient optimization techniques with the associative learning that is heuristic search algorithm. The relatively new neural network structure - Echo state network (ESN) - is used as critic network within ACD scheme. It is trained minimizing temporal difference error using Recursive Least Squares (RLS) algorithm. The actor in ACD scheme is trained by associative learning. The proposed approach is tested on optimization of a complex nonlinear process for biopolymer production. The obtained previously results using gradient descent algorithm for actor training are compared with those obtained using heuristic search algorithm and the advantages and shortcomings of both methods are discussed.

*Главна цел на настоящата работа е да се комбинира методът на адаптивната критика (ACD), който спада към градиентните методи за оптимизация, с асоциативното обучение, което е евристичен търсец алгоритъм. Една сравнително нова структура на невронна мрежа – тип „ехо“ (ESN) – е използвана за елемента критика в ACD схемата. Актърът в ACD схемата е настроен посредством метод за асоциативно обучение. Предложеният подход е тестван на задачата за оптимизация на сложен нелинеен процес за производство на биополимер. Получените предходни резултати с използване на градиентен*

*алгоритъм за обучение на актьора са сравнени с тези получени с евристичния алгоритъм и са дискутирани предимствата и недостатъците на двата подхода.*

**SJR.6. Koprinkova-Hristova, P., Palm, G., ESN intrinsic plasticity versus reservoir stability (2011) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 6791 LNCS (PART 1), pp. 69-76.**

The work presented in this paper was inspired by similarities between intrinsic plasticity (IP) pre-training of the ESN reservoir and the common RNN stability conditions derived from nonlinear control theory. The common theoretical stability conditions were applied to the ESN structure. It was proven that in fact IP training achieves a balance between maximization of entropy at the ESN output and the concentration of that output distribution around the pre-specified mean value. Thus the squeezing of the neuron nonlinearities is produced not only by nonzero biases and translation of the ESN equilibrium state but also by the chosen output distribution mean value. The numerical investigations of different random reservoirs showed that the IP improvement stabilizes even initially unstable reservoirs.

*Представената в тази статия работа е вдъхновена от приликите между метода на вътрешната пластичност (IP) за настройване на резервоара на ESN и обобщените условия за устойчивост на рекурентни невронни мрежи, изведени от нелинейната теория на управлението. Обобщените теоретични условия за устойчивост са приложени към ESN структурата. Доказано е, че IP настройването постига баланс между максимизацията на ентропията в изхода на ESN и концентрацията на неговото разпределение около зададена средна стойност. По този начин свиването на нелинейностите на невроните се постига не само посредством ненулеви отклонения и трансляция на равновесното състояние на ESN, но също и посредством избраната средна стойност на целевото разпределение на изхода. Числените изследвания на различни случайно генерирани резервоари показаха, че IP настройването стабилизира дори първоначално неустойчиви резервоари.*

**SJR.7. Koprinkova-Hristova, P., Palm, G., Adaptive critic design with ESN critic for bioprocess optimization (2010) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 6353 LNCS (PART 2), pp. 438-447.**

We propose an on-line action-dependent heuristic dynamic programming approach based on recurrent neural network architecture – Echo state network (ESN) – as critic network within the frame of adaptive critic design (ACD), to be used for adaptive control. Here it is applied to the optimization of a complex nonlinear process for production of a biodegradable polymer, briefly called PHB. The on-line procedure for simultaneous critic training and process optimization is tested in the absence and presence of measurement noise. In both cases the optimization procedure succeeded in increasing the productivity and in proper training of the adaptive critic network at the same time.

*Ние предлагаме приложение за целите на адаптивното управление на евристичен метод на динамичното програмиране в реално време със зависимост от управлението, основано на рекурентна невронна мрежа – тип „ехо“ (ESN) – в*

## Резюмега – група В

*ролята на критиката в рамките на схемата на адаптивната критика (ACD). Тук този подход е приложен за оптимизацията на един сложен нелинеен процес за производство на биоразградим полимер, наричан на кратко РНВ. Тествана е симулационно процедура за обучение в реално време едновременно на критиката и оптимизация на процеса при липса и наличие на шум в измерванията. И в двата случая оптимизационната процедура успява да повиши продуктивността на процеса, едновременно с това обучавайки адаптивната критика.*

### *Реферирани в Scopus и WoS*

**R.1. Koprinkova-Hristova, P., Todorov, Y., Paraschiv, N., Olteanu, M., Terziyska, M., Adaptive control of distillation column using adaptive critic design (2017) Proceedings of the 2017 21st International Conference on Process Control, PC 2017, art. no. 7976253, pp. 434-439.**

The paper aims at synthesis of an adaptive controller of the distillate output flow rate of a binary distillation column. The disturbance of the process is the change of concentration of the inlet compound. The Adaptive Critic Design (ACD) approach was applied to predict on time the future effect of disturbance and to adapt the distillate output flow rate in order to prevent deviations from the desired distillate concentration. The key element of ACD – the critic – is a fast trainable recurrent neural network named Echo state network (ESN). The simulation investigations demonstrated that the proposed adaptive control scheme outperforms a classical nonadaptive controller with respect to the settling time and the reaction delay.

*Цел на статията е синтезиране на адаптивен регулатор на скоростта на изходния поток на бинарна дестилационна колона. Смуцение на процеса е промяната на концентрацията на входния компонент. Методът на адаптивната критика (ACD) е приложен за предсказване на време на бъдещото влияние на смуцението и за адаптация на скоростта на изходния поток с цел предотвратяване на отклонението от желаната стойност на концентрацията на дестилата. Ключовият елемент на ACD – критиката – е бързо обучаваща се рекурентна невронна мрежа наричана Echo state network (ESN). Симулационните изследвания демонстрират, че предложената адаптивна схема на управление превъзхожда класическия неадаптивен регулатор по отношение на времето за достигане на заданието и закъснението на реакцията.*

**R.2. Koprinkova-Hristova, P., Alexiev, K., Neuro-fuzzy tuning of Kalman filter (2016) 2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems, IS 2016 - Proceedings, art. no. 7737497, pp. 651-657.**

In the present work we upgrade the designed neuro-fuzzy approach for on-line optimal tuning of Kalman filter of a gyroscope within a Micro Electro-Mechanical System (MEMS) device. In addition to the covariance matrix of measurement noise the covariance matrix of the estimated process was tuned too. Our approach consists of Adaptive Critic Design (ACD) scheme in which two actors designed as Fuzzy Rule Bases (FRBs) were tuned to adapt both covariance matrices using only information about the direction to which the estimation error changes (increase or decrease). A novel fast training dynamic neural network structure - Echo state network (ESN) - was used in the role of the critic element. Application to data collected from real MEMS demonstrated the ability of the

## Резюмега – група В

proposed approach to tune Kalman filter and improve the quality of its estimates in changing working conditions of the MEMS in real time.

*В представената работа надграждаме създадения невро-размит подход за оптимална настройка в реално време на филтър на Калман за жироскоп в микро-електро-механично устройство (MEMS). В добавка към ковариационната матрица на шума в измерванията, ковариационната матрица на оценката на процеса също е обект на настройване. Нашият подход се състои от схема с адаптивна критика (ACD), в която два „актьора“, моделирани с размити бази от правила (FRBs), се настройват, за да адаптират двете ковариационни матрици използвайки само информацията за посоката на промяна на грешката на оценката (нарастване или намаляване). Една нова бързо обучаваща се динамична невронна мрежа - Echo state network (ESN) – е използвана в ролята на елемента критика. Приложението към данни, събрани от реален MEMS сензор демонстрират способността на предложения подход да настройва филтъра на Калман и да подобрява качеството на неговата оценка в променливи условия на работа на устройството в реално време.*

**R.3. Iliev, V., Kostov, G., Stoycheva, J., Koprinkova-Hristova, P., Angelov, M., Popova, S., Bio-ethanol production optimization using ACD with ESN critic (2011) INISTA 2011 - 2011 International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications, art. no. 5946167, pp. 606-610.**

In the present paper on-line action-dependent heuristic neuro-dynamic programming was applied for optimization of a complex nonlinear production process. The approach is based on recurrent neural network architecture – Echo state network (ESN) – as critic network within the frame of adaptive critic design (ACD) scheme. The subject for optimization is bio-ethanol fermentation. The aim was to increase process productivity defining optimal dilution rate profile. The obtained by simulations results are good basis for further experimental investigations.

*В настоящата статия методът на зависимото от действието евристично динамично програмиране е приложен за оптимизацията на сложен нелинеен процес. Подходът се основава на рекурентна невронна мрежа – тип „ехо“ – като критика в рамките на схемата на адаптивната критика (ACD). Обектът на оптимизация ферментацията за производство на био-етанол. Целта е да се увеличи продуктивността посредством оптимален профил на разреждане. Получените симулационни резултати са добра основа за последващи експериментални изследвания.*

**R.4. Koprinkova-Hristova, P., Oubbati, M., Palm, G., Adaptive critic design with echo state network (2010) Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, art. no. 5641744, pp. 1010-1015.**

In the present paper an application of a novel neural network architecture called Echo State Network (ESN) within the frame of a reinforcement learning scheme named Adaptive Critic Design (ACD) is proposed. Our aim is to investigate the possibility for on-line training of adaptive critic using the ESN architecture. In particular the application of this approach to mobile robot control is presented. Our preliminary results are encouraging and

## Резюмега – група В

demonstrate that ESNs are good candidates for the on-line application of an ACD optimization approach due to their specific structure and fast training algorithm.

*В настоящата статия е предложено приложение на една нова архитектура на невронна мрежа, наречена невронна мрежа тип „ехо“ (ESN), в рамките на една схема за обучение по метода „поощрение/наказание“ (reinforcement), наричана метод на адаптивната критика (ACD). Нашата цел е да изследване възможността за обучение в реално време на адаптивна критика с ESN архитектура. Представено е приложение на този подход за управлението на мобилен робот. Нашите предварителни резултати са окуражаващи и демонстрират, че ESN са добър кандидат за приложение в реално време на ACD оптимизационния подход поради тяхната специфична структура и бърз алгоритъм за обучение.*

### **R.5. Oubbati, M., Kächele, M., Koprinkova-Hristova, P., Palm, G., Anticipating rewards in continuous time and space with echo state networks and actor-critic design (2010) ESANN 2011 proceedings, 19th European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning, pp. 117-122.**

In this paper we implement an echo state network within the concept of actor-critic design to obtain optimal control policy for a mobile robot. The robot is asked to anticipate future rewards/punishments and react accordingly. Experimental results show that the proposed approach is simple and effective.

*В тази статия ние използваме невронна мрежа тип „ехо“ в рамките на подхода актьор-критика за получаване на оптимална управляваща стратегия за мобилен робот. Роботът трябва да се научи да очаква бъдещо поощрение/наказание и да реагира адекватно. Експерименталните резултати показват, че предлаганият подход е прост и ефективен.*

### **R.6. Koprinkova-Hristova, P., ACD approach to optimal control of mixed culture cultivation for PHB production process - Sugar's time profile synthesis (2008) 2008 4th International IEEE Conference Intelligent Systems, IS 2008, 3, art. no. 4670516, pp. 1229-1232.**

In the present paper a neural network approach called “Adaptive Critic Design” (ACD) was applied to synthesis of sugar’s optimal time profile for PHB production process. The approach is called also heuristic dynamic programming (HDP) because it is attempt to approximate the dynamic programming in forward manner in order to be able to apply it further in on-line control scheme.

*В настоящата статия подход, основан на невронни мрежи и наричан метод на адаптивната критика (ACD), е приложен за синтез на оптимален времеви профил на захарите в процеса на производство на PHB. Подходът се нарича също евристично динамично програмиране (HDP), тъй като е опит за апроксимация на динамичното програмиране в права посока с цел приложение в схеми за управление в реално време.*



## РЕЗЮМЕТА НА НАУЧНИТЕ ПУБЛИКАЦИИ НА БЪЛГАРСКИ И АНГЛИЙСКИ – Група Г

на доц. Петя Копринкова-Христова

### *С импакт фактор*

**Q1.1. Koprinkova-Hristova, P.D., Bocheva, N., Nedelcheva, S., Stefanova, M., Spike timing neural model of motion perception and decision making (2019) *Frontiers in Computational Neuroscience*, 13, art. no. 20.**

The paper presents a hierarchical spike timing neural network model developed in NEST simulator aimed to reproduce human decision making in simplified simulated visual navigation tasks. It includes multiple layers starting from retina photoreceptors and retinal ganglion cells (RGC) via thalamic relay including lateral geniculate nucleus (LGN), thalamic reticular nucleus (TRN), and interneurons (IN) mediating connections to the higher brain areas—visual cortex (V1), middle temporal (MT), and medial superior temporal (MST) areas, involved in dorsal pathway processing of spatial and dynamic visual information. The last layer—lateral intraparietal cortex (LIP)—is responsible for decision making and organization of the subsequent motor response (saccade generation). We simulated two possible decision options having LIP layer with two sub-regions with mutual inhibitory connections whose increased firing rate corresponds to the perceptual decision about motor response—left or right saccade. Each stage of the model was tested by appropriately chosen stimuli corresponding to its selectivity to specific stimulus characteristics (orientation for V1, direction for MT, and expansion/contraction movement templates for MST, respectively). The overall model performance was tested with stimuli simulating optic flow patterns of forward self-motion on a linear trajectory to the left or to the right from straight ahead with a gaze in the direction of heading.

*Статията представя йерархичен spike timing невронен модел, разработен в средата на NEST симулатор, целящ да възпроизведе вземането на решение от човека при симулирани опростени зрителни задачи за навигация. Той включва множество слоеве, започвайки от фоторецепторите в ретината и ретиналните ганглиевни клетки (RGC) през релето на таламуса, включващо Lateral geniculate nucleus (LGN), thalamic reticular nucleus (TRN) и интерневрони, които медиат връзките към по-горните мозъчни области – зрителната кора (V1), средната темпорална (MT) и междинната горна темпорална (MST) зона, участващи в дорзалния път на преработка на пространствената и динамична визуална информация. Последният слой – латералният париетален кортекс (LIP) – е отговорен за вземането на решение и организацията на последващия моторен отговор (генериране на сакада). Ние симулирахме две възможни опции за решение посредством LIP слой с две зони с взаимни подтискащи връзки, чиято повишена честота на запалване на невроните съответства на решение въз основа на възприятието за моторен отговор – лява или дясна сакада. Всяка фаза от модела е тествана с подходящо избрана стимулация, съответстваща на нейната чувствителност към специфични характеристики на стимула (ориентация за V1, посока за MT и шаблон на разширяване/свиване на движението за MST съответно). Цялостното поведение на модела беше тествано със стимули, симулиращи*

*оптични шаблони на самодвижение напред по линейна траектория на ляво или надясно с поглед в посока на движението.*

**Q1.2. Koprinkova-Hristova, P., Backpropagation through time training of a neuro-fuzzy controller (2010) International Journal of Neural Systems, 20 (5), pp. 421-428.**

The paper considers gradient training of fuzzy logic controller (FLC) presented in the form of neural network structure. The proposed neuro-fuzzy structure allows keeping linguistic meaning of fuzzy rule base. Its main adjustable parameters are shape determining parameters of the linguistic variables fuzzy values as well as that of the used as intersection operator parameterized T-norm. The backpropagation through time method was applied to train neuro-FLC for a highly non-linear plant (a biotechnological process). The obtained results are discussed with respect to adjustable parameters rationality. Conclusions are made with respect to the appropriate intersection operations too.

*Статията разглежда градиентно обучение на размит регулатор (FLC), описан като структура на невронна мрежа. Предложената евро-размита структура позволява запазване на смисъла на базата от размити правила. Нейните обучавани параметри са параметрите, дефиниращи формата на размитите стойности на лингвистичните променливи, както и тези на параметризираната T-норма, използвана като операторът за сечение. Използван е методът на обратното разпространение във времето на грешката за обучение на невро-размити регулатор на силно нелинеен обект (биотехнологичен процес). Получените резултати са обсъдени по отношение рационалността на настроените параметри. Направени са и заключения относно определените параметри на операцията сечение.*

**Q3.1. Koprinkova-Hristova, P., Patarinska, T., Neural network software sensors design for lysine fermentation process (2008) Applied Artificial Intelligence, 22 (3), pp. 235-253.**

The main goal of this article is to study the possibility for neural network software sensors design for Lysine fermentation process on the basis of only one on-line measurable process variable, in this case - the dissolved oxygen concentration. Software sensors for biomass, lysine, glucose, and ammonium concentrations were designed. It is shown that past values of the dissolved oxygen must also be included in order to get successful results, or to enhance the quality of the estimation. The applicability of the sensors in the framework of a closed loop control system was also investigated.

*Основната цел на тази статия е да се изследва възможността за създаване на софтуерни сензори на ферментационния процес за производство на лизин, използващи само измервани в реално време променливи, в този случай – концентрацията на разтворен кислород. Създадени са софтуерни сензори за концентрациите на биомаса, лизин, глюкоза и амоний. Показано е, че миналите стойности на разтворения кислород също трябва да бъдат използвани, за да се получат успешни резултати и да се подобри качеството на оценките. Изследвана е и приложимостта на сензорите в рамките на затворена система за управление.*

**Q4.1. Kostov, G., Popova, S., Gochev, V., Koprinkova-Hristova, P., Angelov, M., Georgieva, A., Modeling of batch alcohol fermentation with free and immobilized yeasts**

**Saccharomyces cerevisiae 46 EVD (2012) Biotechnology and Biotechnological Equipment, 26 (3), pp. 3021-3030.**

Seven of the mathematical structures known by far were applied for modeling of batch alcoholic fermentation with free and immobilized cells of *Saccharomyces cerevisiae* strain 46 EVD using experimental data. The obtained models were analyzed and compared with respect to their quality and applicability for process simulation. Conclusions about the influence of cell immobilization on the batch process intensification were drawn based on analysis of the obtained model parameters. It was found that Monod-type model and logistic equation in combination with Ludeking-Piert model are the most appropriate structures for description of both free- and immobilized-cell fermentations for the investigated yeast strain.

*Приложени са седем известни математически зависимости за моделирането на алкохолната ферментация със свободни имобилизирани клетки на щам *Saccharomyces cerevisiae* 46 EVD с реални експериментални данни. Идентифицираните модели са анализирани и сравнени по отношение на тяхното качество и приложимост за симулация на процеса. Направени са изводи за влиянието на имобилизацията на клетките върху интензификацията на процеса въз основа на анализ на получените параметри моделите. Доказано е, че моделът от тип Моно и лгостично уравнение в комбинация с модела на Ludeking-Piert са най-подходящи за описание както на процеса на ферментация със свободни клетки, така и на този с имобилизирани клетки за изследвания щам дрожди.*

**С SJR ранг**

**SJR.1. Olteanu, M., Paraschiv, N., Koprinkova-Hristova, P., Genetic Algorithms vs. knowledge-based control of PHB production (2019) Cybernetics and Information Technologies, 19 (2), pp. 104-116.**

The paper proposes an approach using Genetic Algorithm (GA) for development of optimal time profiles of key control variable of Poly-HydroxyButyrate (PHB) production process. Previous work on modeling and simulation of PHB process showed that it is a highly nonlinear process that needs special controllers based on human experience, as such fuzzy logic controller proved to be a good choice. Fuzzy controllers are not totally replaced, due to the specific process knowledge that they contain. The achieved results are compared with previously proposed knowledge-based approach to the same optimal control task.

*Статията предлага подход, използващ генетичен алгоритъм (GA) за разработване на оптимални времеви профили на ключовите управляващи променливи на процеса за производство на поли-хидроксибутират (PHB). Предходните изследвания по моделирането и симулацията на процеса за производство на PHB показват, че той е силно нелинеен процес, който изисква специални регулатори, основани на човешкия опит, такива като размити регулатори, доказали се като добър избор. Размитите регулатори не са напълно заместени поради тяхното съдържание на специфично знание за управлението на процеса. Постигнатите резултати са сравними с предходните, основаващи се на знания.*

**SJR.2. Nedelcheva, S., Koprinkova-Hristova, P., Orientation selectivity tuning of a spike timing neural network model of the first layer of the human visual cortex (2019) Studies in Computational Intelligence, 793, pp. 291-303.**

The paper deals with the influence of some parameters determining spatial structure of a spike timing neural network model of the first layer of the human visual cortex on its orientation selectivity. For this aim the model was implemented in NEST simulator and a recently proposed approach for spatial structure design of the orientation columns in its recurrent layer was adopted. The aim was to tune the model to recognize spacial orientation of moving through the visual field stimuli with different size and orientation. The values of the parameters defining columns position and thickness as well as the photo-receptors size and variance of the LGN neurons receptive fields were determined in dependence on the stimuli characteristics. The obtained results showed that bigger size stimuli were detected by wider receptive fields while orientation of smaller stimuli was properly recognized by thicker orientation columns.

*Статията изследва влиянието на някои параметри, определящи пространствената структура на spike timing невронен модел на първия слой на човешката зрителна кора, върху неговата ориентационна селективност. За целта моделът е имплементиран в средата на NEST симулатор, като е използван и един наскоро предложен подход за генериране на ориентационните колони в неговия рекурентен слой. Целта е моделът да се настрои да разпознава пространствената ориентация на движещи се през зрителното стимули с различен размер и ориентация. Стойностите на параметрите, определящи позициите и плътността на колоните, както и на размерите на рецепторните полета на фоторецепторите и невроните в LGN слоя, са определени в зависимост от характеристиките на стимула. Получените резултати показваха, че стимули с по-големи размери се детектират от по-широки рецепторни полета, докато по-малките по размер стимули се разпознават по-добре от по-плътни ориентационни колони.*

**SJR.3. Koprinkova-Hristova, P., Popov, A., Simov, K., Osenova, P., Echo state network for word sense disambiguation (2018) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 11089 LNAI, pp. 73-82.**

The current developments in the area report on numerous applications of recurrent neural networks for Word Sense Disambiguation that allowed the increase of prediction accuracy even in situation with sparse knowledge due to the available generalization properties. Since the traditionally used LSTM networks demand enormous computational power and time to be trained, the aim of the present work is to investigate the possibility of applying a recently proposed fast trainable RNN, namely Echo state networks. The preliminary results reported here demonstrate the applicability of ESN to WSD.

*Настоящите разработки в областта докладват множество приложения на рекурентните невронни мрежи за разпознаването на смисъла на думите (WSD), които позволяват увеличаване на точността на предсказване дори в ситуации на малко знание поради техните обобщаващи способности. Тъй като традиционно използваните LSTM невронни мрежи изискват огромна изчислителна мощност и време, за да бъдат обучени, целта на настоящата работа е да се изследва възможността за приложение на наскоро предложените бързо обучаващи се*

*рекурентни невронни мрежи, а именно невронни мрежи тип „ехо“. Докладваните тук предварителни резултати демонстрират приложимостта на ESN за WSD.*

**SJR.4. Kraliev, V., Krалеva, R., Sinyagina, N., Koprinkova-Hristova, P., Bocheva, N., An analysis of a web service based approach for experimental data sharing (2018) International Journal of Online Engineering, 14 (9), pp. 19-34.**

This paper presents the results obtained from a comparative analysis of two methods for experimental data sharing. Several works related to the topic and some approaches for processing data have been discussed. Different technologies related to the web services, ways of using them and the areas of their application are analyzed. For the purposes of the study, a web service for retrieving specific data from a behavioral experiments database was developed. The methodology and conditions for conducting the experiments are described. Two different indicators are analyzed, respectively: time to retrieve the data from a database and iteration time across all records through one loop. The results show that when retrieving thousands of records both web service based approach and an approach based on a remote database server can be used. However, when retrieving millions of records, the fastest approach was the one that uses remote database server. The obtained results show that the dynamic arrays (containing strings) iterated much faster across all data records than the dataset approach.

*Статията представя резултатите, получени от сравнителен анализ на два метода за споделяне на експериментални данни. Обсъдени са няколко работи, свързани с темата и някои подходи за обработка на данните. Анализирани са различни технологии, свързани с web услуги, начини за тяхното използване и области на приложение. За целта на изследването е разработена web услуга за извличане на специфични данни от база данни от поведенчески експеримент. Описана е методологията и условията на провеждане на експеримента. Анализирани са два различни индикатора, съответно: времето за извличане на данни от базата и итерациите върху всички записи за един цикъл. Резултатите показват, че когато се извличат хиляди записи, web базираните услуги, както и подходът, използващ отдалечен сървър с базата данни, могат да бъдат използвани. Обаче, когато се извличат милиони записи, най-бързият подход в този, който използва отдалечен сървър за базата данни. Получените резултати показваха, че динамичните масиви (съдържащи стрингове) обхождат много по-бързо всички записи от данни, отколкото подходът с набор от данни.*

**SJR.5. Krалеva, R., Kraliev, V., Sinyagina, N., Koprinkova-Hristova, P., Bocheva, N., Design and analysis of a relational database for behavioral experiments data processing (2018) International Journal of Online Engineering, 14 (2), pp. 117-132.**

This paper presents the results of a comparative analysis between different approaches to experimental data storage and processing. Several studies related to the problem and some methods for solving it have been discussed. Different types of databases, ways of using them and the areas of their application are analyzed. For the purposes of the study, a relational database for storing and analyzing specific data from behavioral experiments was designed. The methodology and conditions for conducting the experiments are described. Three different indicators are analyzed, respectively: memory required to store the data, time to load the data from an external file into computer memory and iteration time across all records through one cycle. The obtained results show that for storing a large

number of records (in the order of tens of millions rows) either dynamic arrays (stored on external media in binary file format), or an approach based on a local or remote database management system can be used. Regarding the data loading time, the fastest approach was the one that uses dynamic arrays. It outperforms significantly the approaches based on a local or remote database. The obtained results show that the dynamic arrays and the local data sets approaches iterated much faster across all data records than the remote database approach.

*Тази статия представя резултатите от сравнителния анализ на различни подходи за съхранение и обработка на експериментални данни. Обсъдени са няколко изследвания, свързани с проблема, както и някои методи за неговото решаване. Анализирани са различни типове бази данни, начини за тяхното използване и областите им на приложение. За целите на изследването е създадена реляционна база данни за съхранение и анализ на специфични данни от поведенчески експерименти. Описани са методологията и условията на провеждане на експериментите. Анализирани са три различни индикатора, а именно: нужната памет за съхранение на данните, времето за зареждане на данните от външен файл в паметта на компютъра и времето за преминаване през всички записи за един цикъл. Получените резултати показват, че за съхранението на голям брой записи (от порядъка на десет милиона реда), биха могли да се използват или динамични масиви (съхранявани на външна среда в двоичен формат) или подход основан на система за управление на локална или отдалечена база данни. По отношение на времето за зареждане на данните, най-бърз е подходът с динамични масиви. Той превъзхожда значително подходите, използващи локална или отдалечена база данни. Получените резултати показват, че динамичните масиви и подходът с локална база данни обхождат много по-бързо всички записи, отколкото подходът с отдалечена база данни.*

**SJR.6. Kudriashov, V., Ivanov, V., Alexiev, K., Koprinkova-Hristova, P., Microphone array for non-contact monitoring of rolling bearings (2017) Studies in Computational Intelligence, 681, pp. 103-114.**

A non-contact approach for detection of lubrication loss in ball bearings is described in the paper. An acoustic camera consisting of array of microphones and camera is used for measuring bearing noise. It is found that the lubrication loss increases the obtained sound pressure from 3 to 33 dB, in the frequency range 10Hz–20 kHz. Automatic detection of the lubrication loss may be done by a thresholding technique.

*Описан е неконтактен подход за откриване на загубата на смазка при лагери. Използвана е акустична камера, състояща се от масив от микрофони и камера, за измерване на шума от лагерите. Открито е, че загубата на смазка увеличава звуковото налягане от 3 до 33 dB в честотната област 10Hz–20 kHz. Автоматично детектиране на загубата на смазка може да бъде направено дори преминаването на зададения праг.*

**SJR.7. Bartczuk, Ł., Łapa, K., Koprinkova-Hristova, P., A new method for generating of fuzzy rules for the nonlinear modelling based on semantic genetic programming (2016) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 9693, pp. 262-278.**

## Резюмета – група Г

In this paper we propose a new approach for nonlinear modelling. It uses capabilities of the Takagi-Sugeno neuro-fuzzy systems and population based algorithms. The aim of our method is to ensure that created model achieves appropriate accuracy and is as compact as possible. In order to obtain this aim we incorporate semantic information about created fuzzy rules into process of evolution. Our method was tested with the use of well-known benchmarks from the literature.

*В тази статия ние предлагаме един нов подход за нелинейно моделиране. Той използва способността на Такаги-Сугено невро-размитите системи и популационните алгоритми. Целта на нашия метод е да се уверим, че създаденият модел постига подходяща точност и е компактен колкото е възможно. За целта ние използваме семантична информация за създадените размити правила в процеса на еволюция. Нашият метод беше тестван с използване на добре известни еталони от литературата.*

**SJR.8. Łapa, K., Spalka, K., Koprinkova-Hristova, P., New method for fuzzy nonlinear modelling based on genetic programming (2016) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 9692, pp. 432-449.**

In this paper a new method for fuzzy nonlinear modeling is proposed. This method is a hybridization of genetic algorithm and genetic programming. The innovations in this method concern, among others, using weights of aggregation operators, fitness function criteria and possibilities of automatic creation of fuzzy rules base. The proposed method was tested with use of typical nonlinear modelling benchmarks.

*В тази статия е предложен един нов метод за размито нелинейно моделиране. Този метод е хибриден между генетичен алгоритъм и генетично програмиране. Иновациите на метода са свързани с използване на тегла за агрегиращите оператори, критерии за функцията на полезност и възможност за автоматично генериране база размити правила.*

**SJR.9. Bartczuk, Ł., Przybył, A., Koprinkova-Hristova, P., New method for non-linear correction modelling of dynamic objects with genetic programming (2015) Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science), 9120, pp. 318-329.**

In the paper a method to adapt the equivalent linearization technique of the non-linear state equation is proposed. This algorithm uses correction matrices. It also uses arrays amendments which elements are determined for each new point. These elements are generated by a formula created automatically using genetic programming.

*В тази статия е предложен метод за адаптация на линеаризиращ подход за нелинейни уравнения на състоянието. Алгоритъмът използва коригиращи матрици. Също така се използват добавени масиви, чиито елементи се определят за всяка нова точка. Те са генерирани с формула, създадена автоматично посредством генетичен алгоритъм.*

**SJR.10. Bartczuk, Ł., Przybył, A., Koprinkova-Hristova, P., New method for nonlinear fuzzy correction modelling of dynamic objects (2014) Lecture Notes in Computer Science**

**(including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 8467 LNAI (PART 1), pp. 169-180.**

In the paper a method to use the equivalent linearization technique of the nonlinear state equation with the coefficients generated by the fuzzy rules for current operating point is proposed. On the basis of the evolutionary strategy and properly defined identification procedure, the fuzzy rules are automatically designed to maximize the accuracy of the resulting linear model.

*В статията е предложен метод за еквивалентна линеаризация на нелинейни уравнения на състоянието с коефициенти, генерирани от размити правила за текущата работна точка. Размитите правила са създавани автоматично с цел максимизиране на точността на линейния модел посредством еволюционна стратегия и подходяща идентификационна процедура.*

**SJR.11. Borisova, D., Jeleu, G., Atanassov, V., Koprinkova-Hristova, P., Alexiev, K., Algorithms for lineaments detection in processing of multispectral images (2014) Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 9245, art. no. 92451L.**

Satellite remote sensing is a universal tool to investigate the different areas of Earth and environmental sciences. The advancement of the implementation capabilities of the optoelectronic devices which are long-term-tested in the laboratory and the field and are mounted on-board of the remote sensing platforms further improves the capability of instruments to acquire information about the Earth and its resources in global, regional and local scales. With the start of new high-spatial and spectral resolution satellite and aircraft imagery new applications for large-scale mapping and monitoring becomes possible. The integration with Geographic Information Systems (GIS) allows a synergistic processing of the multi-source spatial and spectral data. Here we present the results of a joint project DFNI I01/8 funded by the Bulgarian Science Fund focused on the algorithms of the preprocessing and the processing spectral data by using the methods of the corrections and of the visual and automatic interpretation. The objects of this study are lineaments. The lineaments are basically the line features on the earth's surface which are a sign of the geological structures. The geological lineaments usually appear on the multispectral images like lines or edges or linear shapes which is the result of the color variations of the surface structures. The basic geometry of a line is orientation, length and curve. The detection of the geological lineaments is an important operation in the exploration for mineral deposits, in the investigation of active fault patterns, in the prospecting of water resources, in the protecting people, etc. In this study the integrated approach for the detecting of the lineaments is applied. It combines together the methods of the visual interpretation of various geological and geographical indications in the multispectral satellite images, the application of the spatial analysis in GIS and the automatic processing of the multispectral images by Canny algorithm, Directional Filter and Neural Network. Landsat multispectral images of the Eastern Rhodopes in Bulgaria for carrying out the procedure are used. Canny algorithm for extracting edges represents series of filters (Gaussian, Sobel, etc.) applied to all bands of the image using the free IDL source. Directional Filter is applied to sharpen the image in a specific preferred direction. Another method is the Neural Network algorithm for recognizing lineaments. The lineaments are effectively extracted using different methods of automatic. The results from the above



mentioned methods are compared to the results derived from the visual interpretation of satellite images and from the geological map. In conclusion, the rose diagrams of the distribution of the geological lineaments and the maps of their density are completed.

*Дистанционните измервания със сателит са универсално средство за изследване на различни области от земната повърхност и околната среда. Усъвършенстването на приложните способности на оптоелектронните устройства, които са тествани за голям период от време в лабораторни и полеви условия и са монтирани на отдалечени сензорни платформи подобрява възможностите на инструментите да добиват информация за Земята и нейните ресурси в глобален, регионален и локален мащаб. Със създаването на нови сателити с висока пространствена и спектрална резолюция и самолети за наблюдение възникват нови възможности за едромасщабно картографиране и наблюдение. Интегрирането с Географските информационни системи (GIS) позволява синергично обработване на пространствените и спектралните данни от много източници. Тук ние представяме резултатите от общия ни проект ДФНИ И01/8, финансиран от ФНИ, фокусиран върху алгоритми за преработване на спектрални данни с използване на корелационен подход и автоматична и визуална интерпретация. Обект на настоящото изследване са линеаментите. Те са линейните хакактеристики на земната повърхност, които са знаци за геологични структури. Геологичните линеаменти се появяват обикновено на мултиспектрални изображения като линии или ръбове, или линейни форми, които са резултат от варирането на цвета на структурите на повърхността. Основни геометрични характеристики на една линия за ориентацията, дължината и кривината. Детектирането на геологичните линеаменти е важна процедура при изследването на минералните залежи, активните свлачищни процеси, наличието на водни ресурси, гражданската защита и т.н. В това изследване е приложен интегриран подход за детектиране на линеаментите. Той комбинира методите за визуална интерпретация на различни геологични и географски индикатори в мултиспектралните сателитни изображения, пространствени анализи на GIS и автоматичната обработка на мултиспектралните изображения с алгоритъма на Сапу, дирекционен филтър и невронни мрежи. Използвани са мултиспектрални изображения от спътника Landsat на Източните Родопи в България. Алгоритъма на Сапу за извличане на ръбове, състоящ се от серия от филтри (Гаусови, Собел и т.н.), е приложен към изображенията при различна дължина на вълната, използвайки свободен IDL софтуер. Дирекционните филтри са използвани за подсилване на специфичните избрани посоки в изображенията. Друг метод за разпознаване на линеаментите използва невронни мрежи. Линеаментите са извлечени с използване на различни автоматични методи. Резултатите от гореописаните методи са сравнение с визуалната интерпретация на сателитните изображения и с географската карта. В заключение, са създадени диаграми на розата за разпределението на геологичните линеаменти и са попълнени картите за тяхната плътност.*

**SJR.12. Koprinkova-Hristova, P., Tontchev, N., Popova, S., Two approaches to multi-criteria optimisation of steel alloys for crankshafts production (2013) International Journal of Reasoning-based Intelligent Systems, 5 (2), pp. 96-103.**

The paper presents the application of multi-criteria optimization to steel alloy composition determination aimed at obtaining improved properties material for crankshafts production. Neural network model of steel mechanical characteristics in dependence on amounts of its alloying elements was used for simulation purpose. Two optimization approaches were applied to find optimal alloys composition. In the first one, several Pareto optimal solutions were found based on those obtained by simulation numerous compositions in the investigated region of interest. The second one used Taguchi method for robust design. The obtained optimal solutions were compared and decision about further production experiments was taken.

*Статията представя приложение на многокритериална оптимизация на състава на стоманена сплав за колянови валове с цел подобряване на нейните характеристики. За целите на симулацията е използван невронен модел на механичните характеристики на стоманата в зависимост от количествата легиращи компоненти. Приложени са два оптимизационни подхода за определяне оптималното съдържание на легиращите елементи. Посредством първия подход са намерени няколко Парето-оптимални състава измежду получените симулационно състави, попадащи в желаната област. Вторият подход използва метода на Тагучи за робастно проектиране. Получените оптимални решения са сравнени и е взето решение за следващи производствени експерименти.*

**SJR.13. Koprinkova-Hristova, P., Tontchev, N., Popova, S., Neural networks approach to optimization of steel alloys composition (2011) IFIP Advances in Information and Communication Technology, 363 AICT (PART 1), pp. 315-324.**

The paper presents modeling of steels strength characteristics in dependence from their alloying components quantities using neural networks as nonlinear approximation functions. Further, for optimization purpose the neural network models are used. The gradient descent algorithm based on utility function backpropagation through the models is applied. The approach is aimed at synthesis of steel alloys compositions with improved strength characteristics by solving multi-criteria optimization task. The obtained optimal alloying compositions fall into martensite region of steels. They will be subject of further experimental testing in order to synthesize new steels with desired characteristics.

*Статията представя моделиране на характеристиките на здравината на стомани в зависимост от съдържанието на легиращи компоненти в тях с използване на невронни мрежи като нелинейни апроксимиращи функции. Полученият невронен модел е използван за оптимизационни цели. Приложен е градиентен алгоритъм за обратно разпространение на функцията на полезност през модела. Целта е синтез на съдържание на легиращи компоненти в стоманата с цел подобряване нейните якостни характеристики посредством решаване на многокритериална оптимизационна задача. Получените оптимални състави на легиращи компоненти попадат в областта на мартензитните стомани. Те ще бъдат обект на по-нататъшно експериментално тестване с цел синтез на нови стомани с желани характеристики.*

**SJR.14. Koprinkova-Hristova, P., Hadjiski, M., Doukovska, L., Beloreshki, S., Recurrent neural networks for predictive maintenance of mill fan systems (2011) International Journal of Electronics and Telecommunications, 57 (3), pp. 401-406.**

In the present paper we focus on online monitoring system for predictive maintenance based on sensor automated inputs. Our subject was a device from Maritsa East 2 power plant – a mill fan. The main sensor information we have access to is based on the vibration of the nearest to the mill rotor bearing block. Our aim was to create a (nonlinear) model able to predict on time possible changes in vibrations tendencies that can be early signal for system work deterioration. For that purpose, we compared two types of recurrent neural networks: historical Elman architecture and a recently developed kind of RNN named Echo stet networks (ESN). The preliminary investigations showed better approximation and faster training abilities of ESN in comparison to the Elman network. Direction of future work will be increasing of predications time horizon and inclusion of our predictor at lower level of a complex predictive maintenance system.

*В настоящата статия фикусът е върху наблюдение в реално време за целите на предсказващото поддържане на база на наличната сензорна информация от автоматичната система за управление. Обект на изследването е устройство от електроцентрала Марица Изток 2 – мелец вентилатор. Основната сензорна информация, до която имаме достъп, е от вибрациите на най-близкия до мелницата лагерен блок на ротора ѝ. Нашата цел е да създадем (нелинеен) модел способен да предсказва навреме възможните промени във вибрационните тенденции, които могат да служат за ранен сигнал за влошаване на работата на системата. За тази цел ние сравнихме два типа рекурентни невронни мрежи: исторически известната архитектура на Елман и една наскоро предложена рекурентна невронна мрежа, наречена тип „ехо“ (ESN). Предварителните изследвания показаха по-добри апроксимационни качества и по-бързо обучение на ESN в сравнение с мрежата на Елман. Бъдещата ни работа ще е насочена към увеличаване на хоризонта на предсказване на нашия модел и включването му на ниско ниво в системата за поддръжка на съоръжението.*

**SJR.15. Koprinkova-Hristova, P., Kostov, G., Angelov, M., Pandzharov, P., Intelligent optimisation of batch fermentations' initial conditions (2010) International Journal of Reasoning-based Intelligent Systems, 2 (3-4), pp. 285-292.**

The paper considers the problems of initial conditions optimization for a class of biotechnological processes called batch fermentations. The method called backpropagation through time of utility function is used as optimization procedure and neural network model of the process under consideration is used for derivatives' calculation. The developed procedure was applied to pre-fermentation process for yogurt starter cultures cultivation. The simulation results confirm experimental experience and expert's opinion on the possible optimal decisions.

*Статията разглежда проблема за оптимизация на началните условия на клас биотехнологични процеси, наричани периодична ферментация. Методът, наречен обратно разпространение във времето на функцията на полезност, е използван като оптимизационна процедура, като за изчисляване на нужните производни е използван невронен модел на разглеждания процес. Разработеният алгоритъм е приложен към процеса на пре-ферментация за подготовка на стартерни култури за кисело мляко. Симулационните резултати потвърдиха експерименталния опит и мнението на експертите за възможните оптимални решения.*

**SJR.16. Koprinkova-Hristova, P., Knowledge-based approach to control of mixed culture cultivation for PHB production process (2008) Biotechnology and Biotechnological Equipment, 22 (4), pp. 964-967.**

The present paper considers the control problems of the mixed culture system where sugars were converted to lactate by the microorganism *Lactobacillus delbrueckii* and then the lactate was converted to poly- $\beta$ -hydroxybutyrate (PHB) by the microorganism *Ralstonia eutropha*. Fuzzy rule base that combines all the experts' knowledge about the process control is developed. It is shown that the used intelligent approach outperforms the classical control strategies applied before.

*Настоящата статия разглежда проблемите при управлението на система смесени култури, при която захарите се конвертират до лактат от микроорганизма *Lactobacillus delbrueckii*, а след това лактатът се конвертира до поли- $\beta$ -хидроксibuтират (PHB) от микроорганизма *Ralstonia eutropha*. Разработена е база от размити правила, която комбинира цялото експертно знание за управлението на процеса. Демонстрирано е, че използваният интелигентен подход превъзхожда класическата схема на управление, прилагана преди към процеса.*

#### ***Реферирани в Scopus и WoS***

**R.1. K. Simov, P. Koprinkova-Hristova, A. Popov, P. Osenova, Word Embeddings Improvement via Echo State Networks, 2019 IEEE International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), Sofia, Bulgaria, 2019, pp. 1-6.**

The paper continues investigations on the application of bidirectional echo state networks (BiESN) to the task of word sense disambiguation (WSD). Motivated by observations that the quality of the embedding vectors used to train the models influences to a significant degree their accuracy, here we propose the application of a single ESN reservoir to generate new potentially better embedding vectors with different dimensions. BiESN models for WSD of various reservoir sizes were trained using various combinations of new and original embeddings models for the input and/or output steps; the achieved accuracy is reported here. The results demonstrate increased WSD accuracy in several cases of newly derived embedding sets.

*Статията продължава изследванията на приложението на двупосочни невронни мрежи тип „ехо“ (BiESN) към задачата за разграничаване на думите по смисъл (WSD). Мотивирани от наблюдения, че качеството на ембедингите на думите, използвани за обучението на моделите, влияе в значителна степен на тяхната точност, тук предлагаме прилагането на един единствен ESN резервоар за генериране на нови потенциално по-добри ембединги с различни размери. BiESN моделите за WSD с различни размери на резервоарите са обучени, използвайки различни комбинации от нови и оригинални ембединги на входа и / или изхода им; показана е постигнатата точност на разграничаване на думите. Резултатите показват повишена точност на WSD в няколко случая на новополучените ембединги.*

**R.2. Koprinkova-Hristova, P., Bocheva, N., Nedelcheva, S., Investigation of Feedback Connections Effect of a Spike Timing Neural Network Model of Early Visual System**

**(2018) 2018 IEEE (SMC) International Conference on Innovations in Intelligent Systems and Applications, INISTA 2018, art. no. 8466292.**

The paper aims at design of a biologically plausible model of human visual system using spike timing neuron models. The first two stages of visual information processing include eye photoreceptors, relay structure called Lateral geniculate nucleus (LGN) and V1 area of visual cortex. Although most of models consider recurrent connections only within V1 area, there is biological evidence that feedback connections from V1 to LGN also exist. Here we started with the commonly accepted “push/pull” structure of V1/LGN model and upgraded it with excitatory feedback from V1 to LGN as well as with a structure of feedback inhibitory neurons – an interneuron and a Thalamic reticular nucleus (TRN) neuron. The model was implemented in NEST simulator. Effects of connection strength as well as the feedback structure (with or without an interneuron and TRN) were investigated by simulations of the model fed with realistic stimulus as input – patterns of moving dots.

*Цел на статията е създаването на биологично обоснован модел на зрителната система при човека с използване на spike timing модели на невроните. Първите два етапа на обработка на зрителната информация включват фоторецепторите в окото, структура, подобна на реле и наречена Lateral geniculate nucleus (LGN) и V1 областта на зрителната кора в мозъка. Макар че повечето известни модели разглеждат рекурентните връзки между невроните само в областта V1, съществуват биологични доказателства, че съществуват и обратни връзки от V1 към LGN. Тук ние започваме с широко приетата “push/pull” структура на V1/LGN модела и го надграждаме с възбудни обратни връзки от V1 към LGN, както и със структура от инхибиращи неврони опосредстващи обратните връзки – интерневрони и Thalamic reticular nucleus (TRN) неврони. Моделът е имплементиран в средата на NEST симулатора. Влиянието на силата на обратните връзки и на структурата, посредваща инхибиращите обратни връзки (със или без интерневрони и TRN) е изследвано симулационно при входна стимулация на модела с реалистичен визуален вход – шаблони с движещи се точки.*

**R.3. Marius, O., Nicolae, P., Koprinkova, P., Yancho, T., Genetic algorithm for system modelling (2017) Proceedings of the 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, ECAI 2017, 2017-January, pp. 1-4.**

The process of modeling of a real system usually implies an iterative approach where an initial model is incrementally modified in order to increase its accuracy with regard to available experimental data. Many approaches are discussed in the literature, among which some are based on Artificial Intelligence techniques. Continuous improvement in the mathematical model adequacy is very similar with the principal of genetic evolution applied in computational intelligence methods. The present paper investigates the application of genetic algorithm technique to optimize the model parameters for an industrial process.

*Процесът на моделиране на реални системи обикновено предполага итеративен подход, при който началния модел се модифицира инкрементационно с цел повишаване на точността му спрямо наличните експериментални данни. В литературата са разгледани много подходи, сред които някои са основани на методите на изкуствения интелект. Продължаващото подобряване на адекватността на моделите е много подобно на принципа на генетичната*

*еволуция, прилаган от методите на компютърната интелигентност. Настоящата статия изследва приложението на генетичен алгоритъм за оптимизация на параметрите на модел на индустриален процес.*

**R.4. Todorov, Y., Koprinkova-Hristova, P., Terziyska, M., Intuitionistic fuzzy radial basis functions network for modeling of nonlinear dynamics (2017) Proceedings of the 2017 21st International Conference on Process Control, PC 2017, art. no. 7976249.**

This paper deals with a design methodology for a neural network with improved robust qualities in notion to handling uncertain input data space variations. The proposed network topology combines the simplicity of the radial basis functions networks to interpret or classify data pairs and the abilities of the intuitionistic fuzzy logic to deal with the vagueness of the data space. A simplified gradient optimization procedure as a learning approach for the designed hybrid neural network is proposed. To investigate the effects of the generated structure throughout varying network parameters, the modeling of a two benchmark chaotic time series – Mackey-Glass and Rossler under uncertain conditions is investigated. The obtained results prove the flexibility of the approach and its potentials to cope with data variations.

*Статията е посветена на създаването на методология за невронни мрежи с подобрени робастни характеристики с цел справяне с неясни вариации на пространството на входните данни. Предложената топология на невронна мрежа комбинира простотата на RBF невронните мрежи и тяхната способност да интерпретират или касифицират двойки входно/изходни данни и способността на интуиционистката размита логика да се справя с неяснотата на данните. Предложена е опростена градиентна оптимизационна процедура за обучение на създадената хибридна невронна мрежа. За да се изследва влиянието на променливите параметри на невронната мрежа са моделирани две реперни хаотични времеви серии - Mackey-Glass и Rossler с неяснота в данните. Получените резултати доказват гъвкавостта на подхода и неговия потенциал за справяне с вариациите на данните.*

**R.5. Koprinkova-Hristova, P., Alexiev, K., Fuzzy merging of MEMS accelerometers and gyroscopes measurements (2016) Proceedings of the 2016 International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications, INISTA 2016, art. no. 7571829.**

The work presents the design of a fuzzy rule base aimed at intelligent merging of measurements by the two sensor types in a Micro Electro-Mechanical Sensor (MEMS) device – accelerometers and three gyroscopes placed on the three axes in the 3D space. The idea aroused from the available expert knowledge how to merge the measurements from both sensors in order to assess inertial force vectors on three space axes. The proposed method is tested on the measurement data collected from a MEMS device placed in a mobile phone. The results demonstrated ability of the proposed fuzzy merging approach to compensate inaccurate readings from the accelerometer during a rotation around one of the phone axis.

*Работата представя създаването на база от размити правила за интелигентно обединение на измерванията от два типа сензори в микро-електро-механичен сензор (MEMS) – акселерометри и жирокопи поставени по трите оси в тримерното пространство. Идеята възниква от наличното експертно знание как*

## Резюмега – група Г

*да се обединят измерванията от двата типа сензори, за да се оценят инерциалните сили по трите пространствени оси. Предложеният метод е тестван върху данни от измерванията с MEMS сензор в мобилен телефон. Резултатите показват способността на предложени размит метод за обединение да компенсира неточните измервания от акселерометрите по време на ротация около една от осите на телефона.*

**R.6. Naydenova, V., Iliev, V., Kaneva, M., Kostov, G., Koprinkova-Hristova, P., Popova, S., Modeling of alcohol fermentation in brewing - Carbonyl compounds synthesis and reduction (2014) Proceedings - 28th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2014, pp. 279-284.**

A mathematical model was developed for studying the carbonyl compounds synthesis and reduction in beer fermentation with alginate-chitosan microcapsules with liquid core. The model was based on the results for the influence of the fermentation temperature, original wort gravity and immobilized cells mass on the carbonyl compounds synthesis and reduction. The obtained model described with high accuracy the vicinal diketones synthesis and reduction and confirmed the experimental data. However, the model was not in agreement with the data for aldehydes synthesis and reduction. It did not take into account the second peak in aldehyde concentration during maturation. It can be assumed that the peak was related to maltotriose uptake by the used yeast strain. Nevertheless, the obtained model can be used for the description of carbonyl compounds synthesis and reduction in beer fermentation with immobilized cells.

*Разработен е математически модел за изследване на синтеза и редукцията на карбонилни съединения при бирената ферментация с алгинат-хитозанови микрокапсули с течено ядро. Моделът се основава на резултатите за влияние на температурата на ферментация, плътността на оригиналната културална среда и масата на имобилизираните клетки върху синтеза и редукцията на карбонилни компоненти. Полученият модел описва с висока точност синтеза и редукцията на вициналните дикетони и потвърждава експерименталните данни. Моделът обаче не е в съответствие с данните за синтез и редукция на алдехидите. Той не отчита пикът свързан с изразходването на малтотриозата от използвания щам дрожди. Независимо от това, полученият модел може да бъде използван за описание на синтеза и редукцията на карбонилните компоненти при бирената ферментация с имобилизирани клетки.*

**R.7. Hadjiski, M., Doukovska, L., Koprinkova-Hristova, P., Intelligent diagnostic on mill fan system (2012) IS'2012 - 2012 6th IEEE International Conference Intelligent Systems, Proceedings, art. no. 6335158.**

The mill fans (MF) are centrifugal fans of the simplest type with flat radial blades adapted for simultaneous operation both like fans and also like mills. The key variable that could be used for diagnostic purposes is vibration amplitude of MF corpse. However its mode values include a great deal of randomness. Therefore the application of deterministic dependencies with correcting coefficients is non-effective for MF predictive modeling. Standard statistical and probabilistic (Bayesian) approaches are also inapplicable to estimate MF vibration state due to non-stationarity, non-ergodicity and the significant noise level of the monitored vibrations. Adequate for the case methods of computational intelligence (fuzzy logic, neural networks and more general AI techniques – the

precedents' method or machine learning (ML)) must be used. The present paper describes promising initial results on applying the Case Based Reasoning (CBR) approach for intelligent diagnostic of the mill fan working capacity using its vibration state.

*Мелещите вентилатори (MF) са центрофугиращи вентилатори от най-прост тип с плоски радиални остриета адаптирани за постоянна работа както вентилатори, така и като мелници. Ключовите променливи, които могат да бъдат използвани за диагностични цели са амплитудата на вибрациите на корпуса им. Обаче техните стойности включват голяма доза случайност. Следователно определянето на детерминистични зависимости с коригиращи коефициенти е неефективно за предсказващото моделиране на MF. Стандартните статистически и вероятностни (Бейсови) подходи са също неприложими за оценка на вибрационното състояние на MF поради тяхната нестационарност, неергодичност и значително ниво на шум в измерванията на вибрациите. Това налага да се използват адекватни за случая методи на компютърната интелигентност (размита логика, невронни мрежи и по-общии методи на изкуствения интелект – методът на прецедентите или машинното обучение). Настоящата статия описва обещаващи начални резултати от приложението на метода Case Based Reasoning (CBR) за интелигентна диагностика на работния капацитет на мелещ вентилатор с използване на неговото вибрационно състояние.*

**R.8. Koprinkova-Hristova, P., Tontchev, N., Popova, S., Multi-criteria optimization of steel alloys for crankshafts production (2012) INISTA 2012 - International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications, art. no. 6246988.**

The paper presents application of multi-criteria optimization to steel alloy composition determination aimed at obtaining improved properties material for crankshafts production. Neural network model of steel mechanical characteristics in dependence on amounts of its alloying elements were used for simulation purpose. Then several Pareto optimal solutions were found based on obtained by simulation numerous compositions in the investigated region of interest.

*Статията представя приложение на многокритериална оптимизация за определяне на състава на стоманени сплави с цел постигане на подобрени свойства на материала за производството на колянни валове. За симулационните цели е използван невронен модел на механичните характеристики на стоманата в зависимост от количествата на легиращите ѝ елементи. Намерени са няколко Парето-оптимални решения сред получените множество състави в изследваната област на интерес.*

**R.9. Balabanov, T., Hadjiski, M., Koprinkova-Hristova, P., Beloreshki, S., Doukovska, L., Neural network model of mill-fan system elements vibration for predictive maintenance (2011) INISTA 2011 - 2011 International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications, art. no. 5946102.**

In the present paper we focus on online monitoring system for predictive maintenance based on sensor automated inputs. Our subject was a device from Maritsa East 2 power plant - a mill fan. The main sensor information we have access to is based on the vibration of the nearest to the mill rotor bearing block. Our aim was to create a (nonlinear) model able to predict on time possible changes in vibrations tendencies that can be early signal



for system work deterioration. For that purpose recently developed kind of Recurrent Neural Networks named Echo state networks were applied. The preliminary investigations showed their good approximation ability for our purpose. Direction of future work will be increasing of predication time horizon.

*В настоящата статия се фокусираме върху наблюдаваща система в реално време за предсказващо поддържане основана на автоматични сензори. Обект на изследването е устройство от електроцентрала Марица Изток 2 – мелец вентилатор. Основната сензорна информация, до която имаме достъп, е вибрацията на най-близкия лагерен блок до мелеция вентилатор. Нашата цел е да създадем (нелинеен) модел способен да предсказва навреме възможните промени във вибрационните тенденции, които могат да бъдат ранен сигнал за влошена работа на системата. За целта се използва един наскоро разработен тип рекурентни невронни мрежи, наричан невронни мрежи тип „ехо“. Предварителните изследвания показаха тяхната добра за нашите цели апроксимационна способност. Насоките за бъдеща работа ще бъдат увеличаване на хоризонта на предсказване на модела.*

**R.10. Kostov, G., Angelov, M., Koprinkova-Hristova, P., Ignatova, M., Orsoni, A., Modeling of oxygen effect on kinetics of batch fermentation process for yogurt starter culture formation (2009) Proceedings - 23rd European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2009, pp. 46-51.**

The aim of this work is to describe the kinetics of yogurt starter culture production by *S. Thermophilus* 13a and *Lb. bulgaricus* 2-11 and quantitatively analyze the effect of different dissolved oxygen concentrations in the milk on the process trend. Five different mathematical models for description of process kinetics are tested and the best one is selected. The increase of initial concentration of dissolved oxygen leads to a proportional decrease in specific growth rate of the population and of the rates of lactose consumption and lactic acid production. On the basis of this investigations, two zones of initial dissolved oxygen concentration are defined. In each of these zones, the associate pair of microorganisms have different behavior.

*Целта на настоящата работа е да се опише кинетиката на производството на стартерна култура за производство на кисело мляко състояща се от *S. Thermophilus* 13a и *Lb. bulgaricus* 2-11 и да се анализира количествено влиянието на различни концентрации на разтворения кислород в млякото по време на процеса. Пет различни математически модела за описание на кинетиката на процеса са тествани и е избран най-добрият. Увеличаването на началната концентрация на разтворения в млякото кислород води до пропорционално намаляване на специфичната скорост на растеж на популацията и скоростите на консумация на лактоза и на производство на млечна киселина. Въз основа на това изследване са дефинирани две зони на началните условия на концентрация на разтворен кислород. Във всяка зона асоциираната двойка микроорганизми има различно поведение.*

**R.11. Koprinkova-Hristova, P.D., Fuzzy operations' parameters versus membership functions' parameters influence on fuzzy control systems properties (2004) 2004 2nd International IEEE Conference 'Intelligent Systems' - Proceedings, 1, pp. 219-224.**

## Резюмета – група Г

In the present paper investigation on the fuzzy operations' parameters influence on the properties of fuzzy control systems is carried out. In addition the influence of these parameters is compared in the case of different membership functions shapes. The stability and dynamic properties of the system linear object – fuzzy logic controller with different parameter sets are investigated. The fuzzy rule base tuning strategy is proposed based on whether triangular or bell-shaped membership functions are used.

*В настоящата статия е проведено изследване на влиянето на параметрите на размитите операции върху свойствата на размитите системи за управление. В допълнение влиянието на тези параметри е сравнено за случаите на различни форми на функциите на принадлежност. Изследвана е устойчивостта и динамичните свойства на системата линеен обект – размит регулатор с различни параметри. Предложена е стратегия за настройка на параметрите на база от размити правила в зависимост от това дали се използват триъгълни или камбановидни функции.*