

PARAMETERS OPTIMIZATION OF PID CONTROLLERS FOR LEATHER MANUFACTURING PROCESS BY USING GENETIC ALGORITHMS

OPTIMIZAREA PARAMETRILOR REGULATOARELOR PID PENTRU PROCESUL DE FABRICARE A PIELII UTILIZÂND ALGORITMI GENETICI

Adrian-Bogdan HANCHEVICI^{1,2*}, Sergiu-Adrian GUȚĂ¹

¹INCDTP – Division Leather and Footwear Research Institute, Bucharest, Romania, email: guta.sergiu@icpi.ro

²"Politehnica" University of Bucharest, Faculty of Automatic Control and Computers, Romania, email: adrian.hanchevici@upb.ro

PARAMETERS OPTIMIZATION OF PID CONTROLLERS FOR LEATHER MANUFACTURING PROCESS BY USING GENETIC ALGORITHMS

ABSTRACT. In this paper is proposed a control strategy for leather manufacturing process. This control strategy makes use of conventional PID control algorithms in combination with an evolutionary optimization technique, namely genetic algorithms. In order to find the parameters for the PID controllers, different performance indexes are provided to the genetic algorithms. In this study the proposed control strategy is used to control one process parameter, namely the pH value. Simulation results are presented. The results show performance improvement which proves that the proposed control strategy is able to make the closed-loop system behave as expected according to different given performance indexes.

KEY WORDS: PID, genetic algorithms, leather manufacturing process

OPTIMIZAREA PARAMETRILOR REGULATOARELOR PID PENTRU PROCESUL DE FABRICARE A PIELII UTILIZÂND ALGORITMI GENETICI

REZUMAT. În această lucrare se propune o strategie de control pentru procesul de fabricare a pielii. Această strategie de control utilizează algoritmi de control PID convenționali în combinație cu o tehnică de optimizare evolutivă, și anume algoritmi genetici. Pentru a determina parametrii pentru regulațoarele PID, algoritmilor genetici li se acordă diferenți indici de performanță. În acest studiu, strategia de control propusă este utilizată pentru a controla un parametru de proces, și anume valoarea pH-ului. Sunt prezentate rezultatele de simulare. Rezultatele arată îmbunătățirea performanței, ceea ce demonstrează că strategia de control propusă este capabilă să inducă sistemului în buclă închisă un comportament dorit în funcție de diferenți indici de performanță stabiliți.

CUVINTE CHEIE: PID, algoritmi genetici, procesul de fabricare a pielii

L'OPTIMISATION DES PARAMÈTRES DE CONTRÔLEURS PID POUR LE PROCÉDÉ DE FABRICATION DU CUIR EN UTILISANT DES ALGORITHMES GÉNÉTIQUES

RÉSUMÉ. Cet article propose une stratégie de contrôle pour le processus de fabrication du cuir. Cette stratégie de contrôle utilise des algorithmes de contrôle PID classiques en combinaison avec la technique d'optimisation évolutive, à savoir les algorithmes génétiques. Pour déterminer les paramètres pour les contrôleurs PID, on fournit de différents indicateurs de performance aux algorithmes génétiques. Dans cette étude, la stratégie de contrôle proposée est utilisée pour contrôler un paramètre de processus, à savoir le pH. Les résultats de simulation sont présentés. Les résultats montrent une amélioration des performances, ce qui démontre que la stratégie proposée est capable de rendre le système de contrôle en boucle fermée se comporter comme prévu en fonction de divers indicateurs de performance établis.

MOTS-CLÉS: PID, algorithmes génétiques, processus de fabrication du cuir

INTRODUCTION

The PID controller is the most used and appreciated controller, being present in industrial applications for many years, proving its reliability in all this time. For SISO (single input single output) linear systems, the task of finding a suitable controller is fairly easy at the moment, given the extensive and solid grounds for PID controller design [1-3]. Given the fact that most plants are not quite linear and the controller design is made around an approximated model of the considered process, the notion and practice of tuning such controllers is widespread. When dealing with a

INTRODUCERE

Regulatorul PID este cel mai utilizat și apreciat regulator (controler), fiind prezent în aplicații industriale de mulți ani și dovedindu-și fiabilitatea în tot acest timp. Pentru sistemele liniare SISO (single input single output), sarcina de a găsi un regulator adecvat este destul de ușoară în acest moment, având în vedere experiența extinsă și solidă pentru proiectarea regulațoarelor PID [1-3]. Având în vedere faptul că cele mai multe procese nu sunt liniare și proiectarea regulatorului se face în jurul unui model aproximativ al procesului analizat, noțiunea și practica de ajustare a

* Correspondence to: Adrian-Bogdan HANCHEVICI, "Politehnica" University of Bucharest, Faculty of Automatic Control and Computers, Romania, email: adrian.hanchevici@upb.ro

SISO system, the task of further tuning PID controller in closed loop is not very demanding, while in the case of MIMO (multi input multi output) systems there is the necessity of tuning more parameters. Combining this notion with the varied classes of nonlinearities and uncertainties that may occur, in one form or another, in real plants, and also taking into account that sometimes these nonlinearities and uncertainties might make computing a suitable controller nearly impossible, it stands to reason that the task of design and tuning of PID controllers for MIMO systems requires a certain degree of automation. In this paper, the focus of such design and tuning is taken over by the development, testing and validation of a heuristic algorithm that will eventually find a desired set of controllers for a MIMO system.

In [4] was presented a control strategy for leather manufacturing processes affected by variant communication delays. The control strategy is for nonlinear SISO systems, based on a multi-agent control structure with fuzzy-logic supervisor. Modeling MIMO systems has been based on approximation and linearization, as found in [5] and [6]. Control strategies for MIMO systems employed over the years include a wide range of techniques, from intelligent control, such as hybrid fuzzy-logic-neural-network control strategies [7], to adaptive control, some ensuring global stability through control schemes based on linearization [8], others resorting to multirate sampling in order to resolve the different number of inputs and outputs issue [9], or even taking on fuzzy-adaptive-based control schemes [10].

In this paper the leather manufacturing process is used as a relevant example of a MIMO non-linear system.

The paper is organized as follows. The authors start by presenting the proposed control strategy using genetic algorithms. In the next section is presented the case study. Final section contains the conclusions and the directions for future research.

PROPOSED CONTROL STRATEGY

General View of the Proposed Control Strategy

When considering the synthesis of control systems for MIMO processes, a valid approach is

unor astfel de regulatoare sunt larg răspândite. Atunci când este vorba de un sistem SISO, sarcina de ajustă suplimentar regulatorul PID în buclă închisă nu necesită mult efort, în timp ce în cazul sistemelor MIMO (intrări multiple ieșiri multiple) există necesitatea de a ajusta mai mulți parametri. Combinând această noțiune cu diferențele clase de neliniarități și incertitudini care pot apărea, într-o formă sau alta, în procesele reale, și având în vedere că uneori aceste neliniarități și incertitudini ar putea face aproape imposibil calculul necesar unui regulator adecvat, este logic că sarcina de proiectare și reglare a regulatoarelor PID pentru sistemele MIMO necesită un anumit grad de automatizare. În această lucrare, sarcina de proiectare și reglare este preluată de dezvoltarea, testarea și validarea unui algoritm heuristic, care va găsi în cele din urmă un set dorit de regulatoare pentru un sistem MIMO.

În [4] se prezintă o strategie de control a proceselor de prelucrare a pieilor afectate de întârzierile de comunicații. S-a utilizat o structură de control pentru sistemele neliniare SISO bazată pe tehnologia multi-agent cu supervizare fuzzy-logic. Modelarea sistemelor MIMO se bazează pe aproximare și liniarizare, după cum se specifică în [5] și [6]. Strategiile de control pentru sistemele MIMO utilizate de-a lungul anilor includ o gamă largă de tehnici, de la controlul inteligent, cum ar fi strategiile hibride de control logică-fuzzy-rețea-neuronala [7], la controlul adaptiv, unele asigurând stabilitate la nivel global prin scheme de control bazate pe liniarizare [8], altele recurgând la eșantionări diferite pentru a rezolva problema numărului diferit de intrări și ieșiri [9] sau chiar la sistemele de control fuzzy adaptive [10].

În această lucrare procesul de fabricare a pielii este folosit ca exemplu relevant al unui sistem neliniar MIMO.

Lucrarea este organizată după cum urmează. Autorii încep prin a prezenta strategia de control propusă folosind algoritmi genetici. În secțiunea următoare este prezentat studiul de caz. Secțiunea finală conține concluziile și direcțiile de cercetare viitoare.

STRATEGIA DE CONTROL PROPUȘĂ

Privire generală asupra strategiei de control propuse

Pentru a face o sinteză a sistemelor de reglare (control) pentru procesele MIMO, o abordare valabilă

finding one or a set of controllers by means of heuristic optimization algorithms. This paper makes use of Genetic Algorithms in order to find the (sub) optimal tuning parameters for a set of conventional controllers for different parameters of a leather manufacturing process. The considered process is of MIMO (multi input – multi output) type, presenting a moderate level of complexity. The leather manufacturing process requires having the displacements on each controlled parameter. Simulation results showed that a set of manually tuned controllers for each displacement requires further tuning in order to obtain the specified performance criteria: eliminating any overshoot while trying to keep the response time relatively short. The tuning parameters are adjusted, in this paper, by means of GA optimization, while taking into account four different types of performance indexes: two general error minimization indexes, a settling time minimizing index and an overshoot eliminating index.

este aceea de a găsi un regulator sau un set de regulatoare prin algoritmi de optimizare euristici. Această lucrare utilizează algoritmi genetici pentru a găsi parametrii optimi de ajustare pentru o serie de regulatoare convenționale pentru diferiți parametri din cadrul unui proces de fabricare a pielii. Procesul considerat este de tip MIMO (multi input – multi output) și prezintă un nivel moderat de complexitate. Procesul de fabricare a pielii necesită reglarea fiecărui parametru. Rezultatele simulării au arătat că un set de regulatoare proiectate pentru fiecare parametru necesită o acordare suplimentară pentru a obține criteriile de performanță specificate: eliminarea oricărui suprareglaj, în același timp încercându-se obținerea unui timp de răspuns relativ scurt. În această lucrare, parametrii de acord sunt optimizați cu ajutorul algoritmilor genetici (GA), luând în considerare patru tipuri diferite de indici de performanță: doi indici generali de minimizare erorii, un indice de minimizare a timpului tranzitoriu și un indice de eliminare a suprareglajului.

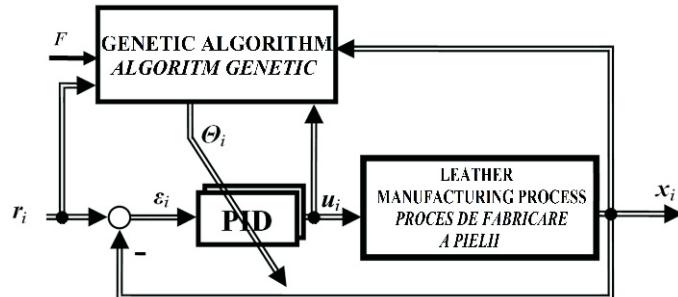


Figure 1. The proposed control strategy
Figura 1. Strategia de control propusă

The proposed control strategy makes use of a set of PID class controllers for the control of process parameters, as presented in Figure 1, where: x_i represents the controlled displacement variables, r_i are the setpoints, u_i are the control signals and Θ_i represent the sets of tuning parameters for each PID controller employed in the system. The performance index to be minimized is $F\epsilon\{I_1, I_2, I_3, I_4\}$. These performance indexes are discussed at the end of this section. Figure 2 presents the simulated response for one manually tuned controller.

Strategia de control propusă utilizează o serie de regulatoare de clasă PID pentru controlul parametrilor de proces, aşa cum este prezentat în Figura 1, unde: x_i reprezintă parametrii reglați din cadrul procesului, r_i sunt valorile de referință, u_i sunt semnalele de comandă și Θ_i reprezintă seturi de parametri de acord pentru fiecare regulator PID folosit în sistem. Indicele de performanță care trebuie redus la minimum este $F\epsilon\{I_1, I_2, I_3, I_4\}$. Acești indici de performanță sunt discutați la sfârșitul acestei secțiuni. Figura 2 prezintă răspunsul simulat pentru un regulator ajustat manual.

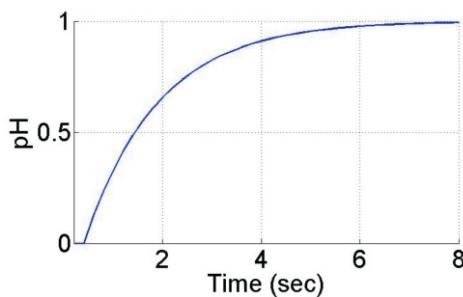


Figure 2. Simulated response

Figura 2. Răspuns simulaț

The time response of each system can be considerably improved by fine-tuning the chosen PID controller. This task is a difficult one, given the interdependency of the controllers' parameters that require further adjustment.

Genetic Algorithms

Genetic algorithms (GAs) are based on a heuristic approach. As one of the most cited evolutionary optimization techniques in literature, GAs are suitable for a wide range of optimization problems, specifically those that deal with modeling uncertainties and gross approximations.

Based on the evolutionary survival-of-the-fittest concept, GAs code the problem's possible solutions into individuals. These form a population, for which an artificial evolution is performed, the advance of generations being obtained by means of natural selection.

The main steps of a GA are [11]:

- Population initialization;
- Fitness evaluation for initial population;
- While the termination condition is not met, for each generation:
 - Selection of the new population;
 - Recombination of individuals;
 - Fitness evaluation for current population;

GAs perform searches on multiple directions in order to find the solution amongst a given population, by evaluating the fitness of each individual. The fitness is the result of an evaluation function modeling a desired objective. Its description is problem-specific, but its purpose is to eliminate unwanted solutions from the gene pool. The fitness function returns a minimization performance index which in turn will be used for the

Timpul de răspuns al fiecărui sistem poate fi îmbunătățit considerabil prin reglajul fin al regulatorului PID ales. Această sarcină este una dificilă, având în vedere interdependența parametrilor regulațoarelor care necesită ajustare suplimentară.

Algoritmi genetici

Algoritmii genetici (GA) se bazează pe o abordare euristică. Fiind una dintre cele mai citate tehnici de optimizare evolutivă din literatură, GA sunt adecvați pentru o serie largă de probleme de optimizare, mai ales cei care se ocupă de incertitudini de modelare și aproximări brute.

Pe baza conceptului evolutiv de supraviețuire a celor mai adaptat, GA codifică soluțiile posibile ale problemei în indivizi. Aceștia formează o populație, pentru care se face o evoluție artificială, iar generațiile apar ca rezultat al unei selecții naturale.

Principalele etape ale unui GA sunt [11]:

- Inițializarea populației;
- Evaluarea conformității populației inițiale;
- Dacă nu este îndeplinită condiția de finalizare, pentru fiecare generație:
 - Selecția unei noi populații;
 - Recombinarea indivizilor;
 - Evaluarea conformității populației actuale;

GA efectuează căutări în direcții multiple pentru a găsi soluția într-o populație dată, prin evaluarea conformității fiecărui individ. Conformitatea este rezultatul unei funcții de evaluare care modelează obiectivul dorit. Descrierea acesteia este specifică problemei, dar scopul său este de a elimina soluții nedeterminate dintr-un fond genetic. Funcția de conformitate are ca rezultat un indice de performanță de reducere la minimum care, la rândul său, va fi utilizat

selection of the new generation. The lower the performance index, the higher the fitness of an individual ($\text{fitness} = 1 / (\text{performance index})$), the closer it is to the solution. The performance index of the entire algorithm is given by the fitness of the best population, or, should the case be, by the fitness of the solution.

This paper tests three different selection functions for the evaluated population. The roulette wheel selection generates a roulette wheel in which each individual is represented according to its fitness, proportionally. The larger the fitness value, the more room it will have on the wheel. The selection occurs by generating a random number and counting the wheel sections. The individuals with greater fitness are more likely to be selected since they have a larger section of the roulette wheel assigned. The rank selection function makes use of a fitness-based sorted population list, from which the extremes are eliminated. The resulting population will then have greater chances to be selected. The method has a slower convergence than roulette wheel selection. The tournament selection procedure involves running several tournaments among a specified number of individuals chosen at random from the evaluated population. The winner of each tournament is considered to be the one with the best fitness value, and therefore is selected for recombination.

Performance Evaluation

By means of the GA evolutionary optimization technique, the parameters of the chosen PID controllers are fine-tuned in a simulated environment.

In [12] is presented a genetic algorithm control of a non-linear MIMO system. The main issue solved in this paper is finding a suitable set of controllers for the considered non-linear system. The results show performance improvement of the system's performances (settling time, steady state error, overshoot) after implementing the GA offline module.

In [13] is developed a method which allows the controller designers to perform optimal tuning of PID controller using an adaptive hybrid particle swarm optimization algorithm, namely AHPSON.

In the current paper a set of four performance indexes is analyzed, each with its own advantages and disadvantages.

pentru selecția unei noi generații. Cu cât este mai mic indicele de performanță, cu atât mai mare este conformitatea unui individ (conformitate=1/(indice performanță)) și cu atât mai aproape este de soluție. Indicele de performanță al întregului algoritm este dat de conformitatea populației optime sau, dacă este cazul, de conformitatea soluției.

În această lucrare se testează trei funcții de selecție diferite pentru populația evaluată. Selecția generează o roată de ruletă în care fiecare individ este reprezentat proporțional în funcție de conformitatea acestuia. Cu cât este mai mare valoarea conformității, cu atât mai mult spațiu va avea pe roată. Selecția are loc prin generarea unui număr aleator și numărarea secțiunilor roții. Individii cu conformitate mai mare au mai multe șanse de a fi selectați, deoarece li se atribuie o secțiune mai mare de roată. Funcția de selecție utilizează o listă a populației sortate pe baza conformității, din care sunt eliminate extremele. Populația rezultată va avea apoi șanse mai mari să fie selectată. Metoda are o convergență mai lentă decât selecția de tip roată de ruletă. Procedura de selecție de tip competiție implică efectuarea mai multor competiții între un număr de indivizi aleși la întâmplare din populația evaluată. Câștigătorul fiecărei competiții este considerat a fi cel cu o valoare optimă a conformității și, prin urmare, este selectat pentru recombinare.

Evaluarea performanței

Prin tehnica optimizării evolutivă cu GA, parametrii regulatoarelor PID alese sunt reglați într-un mediu simulant.

În [12] se prezintă un algoritm genetic de control al unui sistem neliniar MIMO. Principala problemă rezolvată în această lucrare este găsirea unui set de regulatoare adecvate pentru sistemul neliniar luat în considerare. Rezultatele arată îmbunătățirea performanței sistemului (timp tranzitoriu, eroare staționară, suprareglaj) după implementarea modulului GA offline.

În [13] se dezvoltă o metodă care le permite proiectanților să ajusteze optim regulatorul PID utilizând un algoritm de optimizare hibrid adaptiv cu roiuri de particule (AHPSON).

În această lucrare se analizează un set de patru indici de performanță, fiecare cu propriile avantaje și dezavantaje.

I_1 : the ISE (Integral Square Error) performance index is a general error minimizing index, making use of the quadratic error values obtained at a step response simulation:

$$I_1 = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt. \quad (1)$$

By using this performance index the penalization of positive and negative error values is achieved. ISE performance index is not very sensitive to parameter variations.

I_2 : the IAE (Integral Absolute Error) performance index is a general error minimizing index, making use of the absolute error values:

$$I_2 = \int_0^{\infty} |\varepsilon(t)| dt. \quad (2)$$

IAE performance index has a better sensitivity than ISE. Also, this performance index requires fewer processor operations, as instead of computing the square of error, only a removal of the sign is performed in order to obtain the absolute values.

I_3 : the ITAE (Integral of Time multiplied by the Absolute value of Error) is a very useful performance index, which penalizes long-term responses:

$$I_3 = \int_0^{\infty} t |\varepsilon(t)| dt. \quad (3)$$

This performance index is more selective than ISE and IAE. ITAE performance index generally produces oscillations and overshoots lower than IAE and ISE. ITAE uses time values, which, for numeric systems, are subjected to processor clock communication delays.

I_4 : the IEC (Integral of Error and Command) performance index makes use of the command values:

$$I_4 = \int_0^{\infty} (\varepsilon^2(t) + \rho u^2(t)) dt, \quad (4)$$

where ρ is a strict positive command penalty factor.

By minimizing this performance index is provided, besides the desired evolution of the error, the desired transient response and a minimization of the command in accordance with actuator limitations. Also, IEC requires more computing capacity than the first three indexes and is subject to the choice of the penalty factor.

I_1 : indicele de performanță ISE (eroarea pătratică integrală) este un indice general de reducere la minimum, care utilizează valorile erorilor pătratice obținute la simularea unui răspuns într-o etapă:

Utilizând acest indice de performanță se realizează penalizarea valorilor de eroare pozitive și negative. Indicele de performanță ISE nu este foarte sensibil la variațiile parametrilor.

I_2 : indicele de performanță IAE (eroarea absolută integrală) este un indice general de reducere la minimum, care utilizează valori de eroare absolute:

Indicele de performanță IAE are o sensibilitate mai bună decât ISE. De asemenea, acest indice de performanță necesită mai multe operații de procesare, deoarece în loc să calculeze pătratul erorii, se realizează doar o înlăturare a semnului pentru a obține valorile absolute.

I_3 : ITAE (integrala timpului înmulțită cu valoarea absolută a erorii) este un indice de performanță foarte util, care penalizează răspunsurile pe termen lung:

Acest indice de performanță este mai selectiv decât ISE și IAE. Indicele de performanță ITAE produce în general oscilații și suprareglări mai mici decât IAE și ISE. ITAE utilizează valori de timp, care, în cazul sistemelor numerice, sunt supuse întârzierilor de comunicare între procesor și ceas.

I_4 : indicele de performanță IEC (integrala eroare și comandă) utilizează valorile de comandă:

unde ρ este un factor de penalizare a comenzi strict pozitiv.

Prin reducere rezultă acest indice de performanță, pe lângă evoluția dorită a erorii, răspunsul tranzitoriu dorit și o reducere la minimum a comenzi în conformitate cu limitările elementului de execuție. De asemenea, IEC necesită o capacitate de calcul mai mare decât primii trei indici și este supus alegerii factorului de penalizare.

CASE STUDY

For this study the control of one parameter was considered, namely the pH value. This SISO (Single Input Single Output) system is non-linear and it can be approximated by the rational s-transfer function:

$$H_P(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{K_p}{T_p \cdot s + 1} \quad (5)$$

where K_p is the gain, and T_p represents the dynamics of the plant.

This case study presents the comparative results obtained using simulation setup. Making use of three different selection procedures, the proposed control architecture is tested. The performance criteria taken into account include settling time, overshoot and steady state error of the step response. Table 2 presents both simulation results for each of the cases considered in this paper.

For the manually tuned controller, whose simulated responses are presented in Figure 2, the following performances were obtained (Table 1):

Table 1: Simulation performances for the manually tuned controller
Tabelul 1: Performanțele de simulare ale regulatorului ajustat manual

	Settling Time (s) <i>Timp tranzitoriu (s)</i>	Overshoot (%) <i>Suprareglaj (%)</i>	Steady State Error (%) <i>Eroare staționară (%)</i>
ITP	6.2	0	0

Table 2: Simulation study analysis
Tabelul 2: Analiza studiului de simulare

	Settling Time (s) <i>Timp tranzitoriu (s)</i>				Overshoot (%) <i>Suprareglaj (%)</i>			
	I_1	I_2	I_3	I_4	I_1	I_2	I_3	I_4
AG10G RSF	3.0	4.0	4.2	3.2	0	0	0	0
AG20G RSF	3.2	3.6	3.6	3.4	0	0	0	0
AG25G RSF	3.8	4.2	3.4	4.0	0	0	0	0
AG50G RSF	3.6	3.2	2.8	3.2	0	0	0	0
AG25G RWSF	4.0	3.8	3.2	3.8	0	0	0	0
AG25G TSF	3.6	3.2	3.6	3.8	0	0	0	0

The cases analyzed in this paper are (Table 1, Table 2): ITP - the implicit tuning parameters are used; AG10G RSF - the tuning parameters are obtained by running a

STUDIU DE CAZ

În acest studiu s-a luat în considerare controlul unui singur parametru, și anume valoarea pH-ului. Acest sistem SISO (Single Input Single Output) este neliniar și poate fi aproimat prin funcția rațională de transfer:

unde K_p este factorul de amplificare, iar T_p reprezintă constanta de timp a procesului.

Acest studiu de caz prezintă rezultatele comparative obținute utilizând un proces de simulare. Arhitectura de control propusă este testată utilizând trei proceduri de selecție diferite. Criteriile de performanță luate în considerare includ timpul tranzitoriu, suprareglajul și eroarea staționară ale răspunsului sistemului la intrare de tip treaptă. Tabelul 2 prezintă rezultatele ambelor simulări pentru fiecare dintre cazurile analizate în lucrare.

Pentru regulatorul acordat manual, ale cărui răspunsuri simulate sunt prezentate în Figura 2, s-au obținut următoarele performanțe (Tabelul 1):

Cazurile analizate în această lucrare sunt următoarele (Tabelul 1, Tabelul 2): ITP - s-au folosit parametrii de reglare implicați; AG10G RSF - parametrii de

10 generation AG with ranking selection; AG20G RSF - the tuning parameters are obtained by running a 20 generation AG with ranking selection; AG25G RSF - the tuning parameters are obtained by running a 25 generation AG with ranking selection; AG50G RSF - the tuning parameters are obtained by running a 50 generation AG with ranking selection; AG25G RWSF - the tuning parameters are obtained by running a 25 generation AG with roulette wheel selection; AG25G TSF - the tuning parameters are obtained by running a 25 generation AG with tournament selection. For all the cases presented in Table 2, the steady state error was 0.

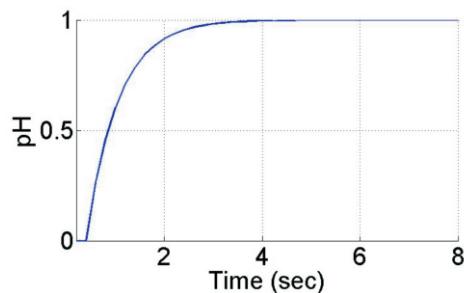


Figure 3. Simulated response of the best controller for the first performance index

Figura 3. Răspuns simulant al celui mai bun regulator pentru primul indice de performanță

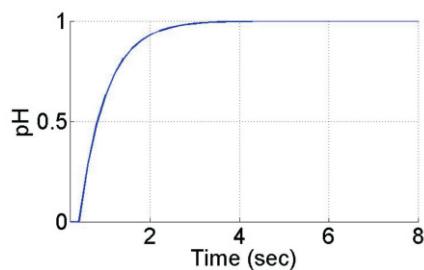


Figure 5. Simulated response of the best controller for the third performance index

Figura 5. Răspuns simulant al celui mai bun regulator pentru al treilea indice de performanță

Figures 3, 4, 5, and 6 present the simulation responses for the best controllers out of all the analysed cases. Comparing these results with the implicit set of controllers found manually by a human operator (Figure 2), the decrease in settling time is significant for the system working with GA tuned controllers.

reglare sunt obținuți utilizând un GA de generația a 10-a cu selecție de tip clasament; AG20G RSF - parametrii de reglare sunt obținuți utilizând un GA de generația a 20-a cu selecție de tip clasament; AG25G RSF - parametrii de reglare sunt obținuți utilizând un GA de generația a 25-a cu selecție de tip clasament; AG50G RSF - parametrii de reglare sunt obținuți utilizând un GA de generația a 50-a cu selecție de tip clasament; AG25G RWSF - parametrii de reglare sunt obținuți utilizând un GA de generația a 25-a cu selecție de tip roată de ruletă; AG25G TSF - parametrii de reglare sunt obținuți utilizând un GA de generația a 25-a cu selecție de tip competiție. Pentru toate cazurile prezentate în Tabelul 2, eroarea staționară a fost 0.

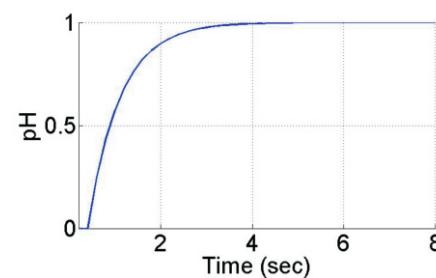


Figure 4. Simulated response of the best controller for the second performance index

Figura 4. Răspuns simulant al celui mai bun regulator pentru al doilea indice de performanță

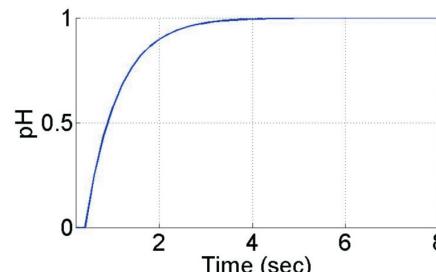


Figure 6. Simulated response of the best controller for the fourth performance index

Figura 6. Răspuns simulant al celui mai bun regulator pentru al patrulea indice de performanță

Figurile 3, 4, 5 și 6 prezintă răspunsurile simulate pentru cele mai bune regulatoare din toate cazurile analizate. Comparamând aceste rezultate cu setul implicit de regulatoare găsit manual de un operator uman (Figura 2), scăderea timpului tranzitoriu este semnificativă pentru sistemul care utilizează regulatoare reglate cu GA.

CONCLUSIONS

This paper presented a genetic algorithm based control strategy for non-linear MIMO systems. The main issue solved in this paper is finding suitable parameters of PID controllers for the considered system by providing different performance indexes to the genetic algorithms. The control strategy was applied to leather manufacturing process. Simulation results show improvement in the system's performances after implementing the GA offline module. This proves that the proposed control strategy is able to make the closed-loop system behave as expected according to different given performance indexes. A major issue in this paper was the initialization procedure of the genetic algorithms which can influence the outcome of the optimization performed.

By analyzing the simulation and experimental results, the proposed control strategy proved to be better than the one proposed by [13]. With the proposed control strategy were obtained better results in terms of overshoot, while there cannot be made a comparison in terms of settling time because in both studies were considered different plants having different dynamics. In the presented study more performance indexes like ITAE, IEC were considered, and again, the proposed control strategy proved its efficiency.

The authors consider of major importance the further study of the genetic algorithm control module which can be enhanced by real-time optimization implementation in a distributed fully-online control system.

Acknowledgements

This work was supported by the European Fund for Regional Development and the Romanian Government in the framework of Sectoral Operational Programme under the project INNOVA-LEATHER: «Innovative technologies for leather sector increasing technological competitiveness by RDI, quality of life and environmental protection» – contract POS CCE-AXIS 2-O 2.1.2 no. 242/20.09.2010 ID 638 COD SMIS-CSNR 12579.

CONCLUZII

Această lucrare prezintă o strategie de control bazată pe un algoritm genetic pentru sisteme neliniare MIMO. Principala problemă rezolvată în lucrare este găsirea unor parametri adecvați ai regulatoare PID pentru sistemul studiat prin stabilirea unor diferenții indici de performanță pentru algoritmii genetici. Strategia de control a fost aplicată procesului de fabricare a pielii. Rezultatele simulării arată o îmbunătățire a performanței sistemului după implementarea modulului GA offline. Acest lucru demonstrează că strategia de control propusă are capacitatea de a induce sistemului în buclă închisă un comportament dorit în funcție de diferenții indici de performanță stabiliți. O problemă majoră a fost procedura de inițializare a algoritmilor genetici, care poate influența rezultatul optimizării efectuate.

Analizând rezultatele experimentale și ale simulării, strategia de control propusă s-a dovedit a fi mai bună decât cea propusă în [13]. Cu strategia de control propusă s-au obținut rezultate mai bune în ceea ce privește suprareglajul, dar nu se poate face o comparație în ceea ce privește timpul tranzitoriu deoarece în ambele studii s-au analizat diferite fabrici cu dinamici diferite. În acest studiu s-au luat în considerare mai mulți indici de performanță, precum ITAE, IEC, și din nou, strategia de control propusă și-a dovedit eficiența.

Autorii consideră de mare importanță continuarea studierii modulului de control cu algoritmi genetici care poate fi îmbunătățit prin implementarea unei optimizări în timp real într-un sistem de control distribuit integral online.

Mulțumiri

Această lucrare a fost finanțată de Fondul European pentru Dezvoltare Regională și Guvernul român, în cadrul Programului Operațional Sectorial, în cadrul proiectului INNOVA LEATHER: «Tehnologii inovative pentru sectorul de pielărie care să asigure creșterea competitivității prin CDI, calitatei vieții și protecția mediului» - contract POS CCE-AXA 2-O 2.1.2 nr. 242/20.09.2010 ID 638 COD SMIS-CSNR 12579.

REFERENCES

1. Dumitache, I., Automatic Tuning Engineering, Volume 1 (in Romanian), Politehnica Press, Romania, **2010**.
 2. Dumitache, I., Automatics, Volume 1 (in Romanian), Romanian Academy Press, Bucharest, Romania, **2010**.
 3. Iserman, R., Digital Control Systems, Volume I, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, **1989**.
 4. Hanchevici, A.B., Guță, S.A., Supervised Multi-Agent Control of Leather Manufacturing Process by Using the Fuzzy Logic, *Revista de Pielarie Incaltaminte (Leather and Footwear Journal)*, **2012**, 12, 2, 101-112.
 5. Dobrowiecki, T., Schoukensb, J., Measuring a linear approximation to weakly nonlinear MIMO systems, *Automatica*, **2007**, 43, 1737–1751.
 6. Ge, S.S., Tee, K.P., Approximation-based control of nonlinear MIMO time-delay systems, *Automatica*, **2007**, 43, 31–43.
 7. Lin, J., Lian, R.-J., Hybrid fuzzy-logic and neural-network controller for MIMO systems, *Mechatronics*, **2009**, 19, 972 – 986.
 8. Zhoua, Y., Wu, Y., Output feedback control for MIMO nonlinear systems using factorization, *Nonlinear Analysis*, **2008**, 68, 1362-1374.
 9. Mizumoto, I., Chen, T., Ohdaira, S., Kumona, M., Iwaia, Z., Adaptive output feedback control of general MIMO systems using multirate sampling and its application to a cart-crane system, *Automatica*, **2007**, 43, 2077–2085.
 10. Shaocheng, T., Changying, L., Yongming, L., Fuzzy adaptive observer backstepping control for MIMO nonlinear systems, *Fuzzy Set Syst*, **2009**, 160, 2755–2775.
 11. Dumitache, I., Buiu, C., Genetic Algorithms (in Romanian), Nemira, Cluj-Napoca, Romania, **1999**.
 12. Patrascu, M., Hanchevici, A.B., Dumitache, I., Tuning of PID Controllers for Non-Linear MIMO Systems Using Genetic Algorithms, Proceedings of the 18th IFAC Congress, Milano, Italy, **2011**, 12644-12649.
 13. Markos, S., Kamal, H., Optimal Tuning of PID Controller using Adaptive Hybrid Particle Swarm Optimization Algorithm, *Int J Comput Commun*, **2012**, VII, 1, 101-114.
-

Article received/Data primirii articolului: 31.08.2015

Accepted/Acceptat la data: 27.11.2015