

SUPERVISED MULTI-AGENT CONTROL OF LEATHER MANUFACTURING PROCESSES BY USING THE FUZZY LOGIC

REGLAREA PROCESELOR DE PRELUCRARE A PIEILOR FOLOSINDU-SE O STRUCTURĂ MULTI-AGENT CU SUPERVIZARE BAZATĂ PE LOGICA FUZZY

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

¹Faculty of Automatic Control and Computers, Department of Automatic Control and System Engineering, "Politehnica" University of Bucharest, Romania, email: adrian.hanchevici@upb.ro

²INCDTP – Division: Leather and Footwear Research Institute, 93 Ion Minulescu, Bucharest, Romania, email: guta.sergiu@icpi.ro

SUPERVISED MULTI-AGENT CONTROL OF LEATHER MANUFACTURING PROCESSES BY USING THE FUZZY LOGIC

ABSTRACT. In this paper we propose a supervised multi-agent control strategy for leather manufacturing processes. In a tannery numerous processes are performed and in order to control them we use an agent for each process. Due to the control from distance, the systems are affected by varying communication delays which can affect the quality of the final product. The supervisor is used to adjust, by using the fuzzy logic, the command provided by each agent. Simulation results are presented. The results show performance improvement when our control strategy is used.

KEY WORDS: multi-agent control, supervised control, fuzzy logic, communication delay, leather manufacturing.

REGLAREA PROCESELOR DE PRELUCRARE A PIEILOR FOLOSINDU-SE O STRUCTURĂ MULTI-AGENT CU SUPERVIZARE BAZATĂ PE LOGICA FUZZY

REZUMAT. În această lucrare propunem o structură de reglare multi-agent cu supervizare pentru procesele de prelucrare a pieilor. Într-o tăbăcărie au loc numeroase procese, iar pentru a le regla se folosesc câte un agent pentru fiecare proces în parte. Din cauza reglării de la distanță, sistemele sunt afectate de întârzierile variabile de comunicație care pot periclită calitatea produsului final. Supervisorul este folosit pentru a ajusta, prin folosirea logicii fuzzy, comanda calculată de fiecare agent în parte. Sunt prezentate rezultatele obținute în mediu simulat. Aceste rezultate demonstrează o îmbunătățire a performanțelor de reglare atunci când este folosită structura noastră de reglare.

CUVINTE CHEIE: reglare multi-agent, reglare supervizată, logică fuzzy, întârziere de comunicație, prelucrarea pieilor.

LE CONTRÔLE MULTI-AGENTS À SUPERVISION DES PROCESSUS DE FABRICATION DES CUIRS EN UTILISANT LA LOGIQUE FLOUE

RÉSUMÉ. Dans cet article nous proposons une structure de contrôle multi-agents à supervision des processus de traitement des cuirs. Dans une tannerie il y a de nombreux processus et pour les contrôler, on utilise un agent pour chaque processus. En raison du contrôle à distance, les systèmes sont affectés par les retards variables de communication qui peuvent mettre en péril la qualité du produit final. Le superviseur est utilisé pour ajuster, en utilisant la logique floue, la commande fournie pour chaque agent. Les résultats obtenus sont présentés dans un environnement simulé. Ces résultats démontrent une amélioration des performances de contrôle lors de l'utilisation de notre structure de contrôle.

MOTS CLÉS: contrôle multi-agents, réglage supervisé, logique floue, retard de communication, traitement des cuirs.

INTRODUCTION

Leather manufacturing processes such as soaking, liming, deliming, bating, pickling, tanning involve numerous chemical and mechanical operations of high complexity [1]. These processes which are interlinked require large quantities of water of precise volume, at an exact temperature, and at the right time. Moreover, chemicals in either liquid or solid form, mixed in a variety of formulas, used during these processes must be dosed properly to maintain consistent quality of the final product. Uncontrolled discharge of these

INTRODUCERE

Procesele de prelucrare a pieilor precum înmuierea, cenușărirea, decalcificarea, sămăluirea, piclarea, tăbăcarea implică numeroase operații chimice și mecanice de o mare complexitate [1]. Aceste procese care sunt interconectate necesită mari cantități de apă la un anumit volum, la o temperatură exactă și la momentul potrivit. În plus, substanțele chimice, în formă solidă sau lichidă, combinate într-o varietate de formule, folosite în aceste procese trebuie dozate în mod corespunzător pentru a menține o calitate constantă a produsului final. Eliminarea necontrolată în

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

chemicals into nature has a negative impact not only on the environment, but also on all forms of life.

In tanneries, numerous equipments, particularly engines, pumps, valves are not located in areas where they can be easily seen or heard by human operators. Thus, problems and failures are not always detected in time. Raw material, leather, has a high value and might be compromised, or expensive machines can be damaged before the fault is detected and fixed [2]. Extension of a leather manufacturing process over a critical threshold, inadequate dosing of chemicals, use of float at an imprecise volume, incomplete development of operations are just some of the issues that may arise in everyday functioning of a tannery and can have negative repercussions, both economically and on human operators' safety.

To survive and thrive in today's market environment characterized by fierce competition, customers' demand for high quality products at lower prices and also an increasing shift from mass production to mass customization, tanneries must aim at reducing the consumption of chemicals, water and energy resources and at minimizing the production of inorganic and organic waste. Also all tanneries are required to operate within strict legislative limits that govern the production and use of harmful or toxic substances [3].

In the absence of industrial process automation and control, human operators have to monitor performance parameters and output quality to determine the optimal values for running production equipments. Moreover, human operators are subject to errors and are limited by the number of hours they can work. This leads to operational inefficiencies and unsafe operating conditions especially when hazardous substances are used and when human operators operate in dangerous environments.

Automatic control of production processes in leather industry simplifies things through the use of sensors located in several places in the plant that collect data on water temperature, pH, chemical solutions, the status of various equipments etc. The information collected from sensors is subsequently stored in a database and thus the tannery can be analyzed globally, as a whole. Also, the equipment can be analyzed unit by unit.

natură a acestor substanțe chimice are un impact negativ nu numai asupra mediului, ci și asupra tuturor formelor de viață.

În tăbăcării, numeroase echipamente, în special motoare, pompe, valve, nu sunt amplasate în zone în care pot fi ușor observate sau auzite de operatorii umani. Astfel, problemele și defecțiunile nu sunt întotdeauna detectate la timp. Materia primă, pielea, are o valoare mare și poate fi compromisă, sau utilaje foarte scumpe pot fi avariate înainte ca defecțiunile să fie detectate și reparate [2]. Extinderea unui proces de prelucrare a pielii peste un anumit prag critic, dozarea inadecvată de substanțe chimice, folosirea unei flote la un volum inexact, realizarea incompletă a operațiilor necesare sunt doar câteva dintre situațiile care pot apărea în funcționarea de zi cu zi a unei tăbăcării și care poate avea repercusiuni negative, atât la nivel economic, cât și asupra siguranței operatorilor umani.

Pentru a supraviețui și prospera în mediul pieței actuale caracterizat de o concurență acerbă, de cererea clienților pentru produse de o înaltă calitate la prețuri cât mai mici și de trecerea de la producția de masă la producția personalizată în masă, tăbăcările trebuie să urmărească reducerea consumului de substanțe chimice, apă și energie și să minimizeze generarea de deșeuri organice și anorganice. De asemenea, toate tăbăcările trebuie să funcționeze în cadrul unor limite legislative stricte care guvernează producția și utilizarea de substanțe nocive sau toxice [3].

În absența controlului și a automatizării proceselor industriale, operatorii umani trebuie să monitorizeze parametrii de performanță și calitatea obținută pentru a determina valorile optime pentru funcționarea echipamentelor de producție. Mai mult decât atât, operatorii umani sunt supuși erorilor și sunt limitați de numărul de ore pe care le pot lucra. Această situație conduce la ineficiență operațională și la condițiile nesigure de operare, mai ales atunci când sunt utilizate substanțele periculoase și atunci când operatorii umani operează în medii periculoase.

Controlul automat al proceselor de producție din industria de pielărie simplifică lucrurile prin utilizarea unor senzori situați în mai multe locuri din tăbăcărie care colectează datele privind temperatura apei, pH-ul, soluțiile chimice folosite, starea diverselor echipamente etc. Informațiile colectate de la senzori sunt ulterior stocate într-o bază de date și astfel tăbăcăria poate fi analizată global, ca un întreg. De asemenea se poate analiza fiecare echipament în parte, unitate cu unitate.

The paper presents the proposed control strategy which makes use of the fuzzy logic and a case study.

PROPOSED CONTROL STRATEGY

Multi-Agent Control

To address the challenges that tanneries faces in everyday functioning, the use of agent technology in dealing with various aspects of its process automation and control was investigated. Particularly, the pickling process was analyzed, whose objectives are: the correction of the pH of the pelt before tannage, the modification of the fibre structure, the adjustment of the water content of the pelt [4]. An exhaustive description of the pickling process is beyond the scope of this paper. Nevertheless, the pickling parameters were investigated, namely pH, float, process time, pickling chemicals (sulphuric acid, formic acid), and for simplicity a process automation system was proposed that has the capability to monitor and control only the pH parameter by using a supervised multi-agent control strategy. The capability of the system can be extended to all parameters.

Diverse multi-agent systems have been employed to handle various aspects of process automation. Wörn [5] put forward a multi-agent architecture, MAGIC, for monitoring and diagnosing complex industrial processes. MAGIC architecture can be applied to chemical plants and nuclear reactors. Cockburn and Jennings present ARCHON [6] (ARchitecture for Cooperative Heterogeneous ON-line systems), a general purpose multi-agent system architecture which has been successfully applied, among others, in control of cement manufacturing processes and electricity transmission.

Tanneries are systems that comprise a large number of spatially distributed subsystems, various machines and drums for different operations, with both frequent and infrequent interactions in which numerous disturbances can occur. A multi-agent approach provides a natural way in dealing with uncertainty and is a quite novel tool to develop highly flexible industrial automatic control systems.

Lucrarea prezintă structura de reglare propusă de autori, care folosește logica fuzzy, urmată de un studiu de caz.

STRUCTURA DE REGLARE PROPUȘĂ

Reglarea Multi-Agent

Pentru a aborda provocările cu care se confruntă tăbăcăriile în funcționarea lor de zi cu zi s-a investigat utilizarea tehnologiei agent în raport cu diferitele aspecte ale procesului de automatizare și control. În special, s-a luat în considerare procesul de piclare, ale cărui obiective sunt: ajustarea pH-ului din piele înainte de tăbăcire, modificarea structurii pielii, modificarea conținutului de apă din piele [4]. O descriere exhaustivă a procesului de piclare nu face parte din obiectivul acestei lucrări. Totuși, s-au investigat parametrii operației de piclare, și anume, pH-ul, flota, timpul de execuție al procesului, produsele chimice folosite la piclare (acid sulfuric, acid formic), iar pentru simplitate s-a propus un sistem de automatizare de proces, care are capacitatea de a monitoriza și controla doar parametrul pH prin folosirea unei strategii de control supervizat multi-agent. Sistemul de monitorizare și control poate fi extins la toți parametrii procesului de piclare.

Diverse sisteme multi-agent au fost folosite pentru a trata aspecte variate ale automatizării de procese. Wörn [5] prezintă MAGIC, o arhitectură multi-agent pentru monitorizarea și diagnosticarea proceselor industriale complexe. Arhitectura MAGIC poate fi aplicată fabricilor de produse chimice și reacțoarelor nucleare. Cockburn și Jennings prezintă ARCHON [6] (ARchitecture for Cooperative Heterogeneous ON-line systems), o arhitectură generală de sistem multi-agent care a fost aplicată cu succes, printre altele, în controlul proceselor de fabricație a cimentului și în transportul de energie electrică.

Tăbăcăriile sunt sisteme care cuprind un număr mare de subsisteme distribuite spațial, diverse utilaje și butoaie de tip reactor chimic pentru diferite operații, între care au loc interacțiuni frecvente și mai puțin frecvente, în care pot apărea numeroase perturbații. Abordarea multi-agent oferă un mod natural de gestionare a incertitudinii și este un instrument destul de nou pentru dezvoltarea de sisteme industriale de control automat de mare flexibilitate.

An agent, which is also referred to as intelligent agent or software agent, can be defined as an autonomous software entity that can sense and act upon an environment in a rational way [7]. Agents act independently without direct intervention of human operators and have control over their actions and internal state. Jones [8] concluded that the difference between a program and an agent is the fact that the latter enjoys the capability to exhibit some type of intelligence. The intelligence in an intelligent agent is given by the agent's properties namely reactivity, social abilities, proactiveness [9].

When these individual problem solving entities – agents – interact with one another, they form a multi-agent system. Pakonen [10] describes the advantages that emerge from agents' interactions in a multi-agent system, namely cooperation in solving problems, parallel work on common task, fault tolerance, sharing expertise, representation of different interests.

In this paper each controller is represented by an agent. In most of the cases the PID (Proportional – Integral – Derivative) controller is implemented because it has proved its efficiency and reliability in industrial applications over the years. One disadvantage of this controller is the fact that it is designed for linear systems and it has to be tuned during production because most of the industrial processes are non-linear. Instead of the PID controller the Fuzzy controller can be used, which is designed for non-linear processes [11, 12], but it needs further adjustments in order to achieve the desired quality of the final product. In most of the cases the PID controller is chosen over the Fuzzy one because the PID is easier to be tuned than the Fuzzy controller.

Besides the fact that we want to design an agent to control each process, we also want the control of the leather manufacturing to be performed from distance, like a control room, or from a different location. In this situation we will face the problem of the communication delay between sensors and controller, and between controller and actuators. Because the communication is performed through a communication network, like Ethernet, CAN, wireless, the communication delay is time variant, due to the traffic through the network. This time variant communication delay has adverse effects on the quality

Agentul, menționat în literatura de specialitate și sub denumirea de agent inteligent sau de agent de software, poate fi definit ca o entitate autonomă, care percepse și acționează rațional într-un anumit mediu [7]. Agenții acționează independent fără intervenția directă a operatorilor umani și au control asupra acțiunilor lor și asupra stării interne. Jones [8] a concluzionat că diferența dintre un program și un agent este faptul că acesta din urmă se bucură de capacitatea de a manifesta un anumit tip de inteligență. Inteligența într-un agent inteligent este dată de proprietățile acestuia și o anume reactivitate, abilități sociale, proactivitate [9].

Când aceste entități individuale de rezolvare a problemelor – agenții – interacționează unul cu celălalt, formează un sistem multi-agent. Pakonen [10] descrie avantajele emergente din interacțiunile agenților într-un sistem multi-agent, și anume, de cooperare în rezolvarea problemelor, muncă în paralel pentru rezolvarea unei sarcini comune, toleranță la erori, schimbul de competențe, reprezentarea de interes diferite.

În această lucrare fiecare controler este reprezentat de un agent. În cele mai multe cazuri este implementat un regulator PID (Proporțional – Integral – Derivativ), deoarece acesta s-a dovedit eficient și de încredere în cazul aplicațiilor industriale de-a lungul anilor. Un dezavantaj al acestui regulator este acela că este proiectat pentru sisteme liniare și necesită o acordare continuă în timpul funcționării, deoarece majoritatea proceselor industriale sunt neliniare. În locul regulatorului PID poate fi folosit un regulator Fuzzy care este proiectat pentru procese neliniare [11, 12], dar care necesită o acordare suplimentară pentru a se obține calitatea dorită pentru produsul final. În majoritatea cazurilor este ales regulatorul PID în detrimentul regulatorului Fuzzy, deoarece acesta este mai ușor de acordat.

Pe lângă faptul că vrem să proiectăm câte un agent pentru fiecare proces, de asemenea ne dorim să controlăm procesul de prelucrare a pieilor de la distanță, de exemplu dintr-o cameră de control, sau dintr-o altă locație. În această situație vom întâmpina problema întâzierilor de comunicație dintre senzori și regulator, și dintre regulator și elementele de execuție. Deoarece comunicația este realizată printr-o rețea de comunicație, precum Ethernet, CAN, fără fir, întâzirea de comunicație variază în timp din cauza traficului prin rețea. Această întâzire de comunicație care variază în

of the final product, so the proposed control strategy has to solve this problem too in order to provide the final product with the desired quality. In literature there are already solutions for this problem [13, 14, 15, 16, 17].

Hybrid Fuzzy-Fuzzy Control

The authors propose this control strategy for nonlinear SISO (single input – single output) systems which have variant communication delays. The communication delays appear due to the communication network used to exchange data between sensors, controller and actuators.

This control strategy is based on fuzzy logic. Firstly, the fuzzy logic is used to design the controller, and secondly it is used to design the supervisor which adjusts the command provided by the controller.

Figure 1 describes the structure of the control strategy, where: r_k is the setpoint, y_k is the controlled variable, u_k represents the control signal, $\hat{\tau}$ is the estimated delay, and $\dot{\hat{\tau}}$ describes the change in delay. The module entitled DELAY ESTIMATOR is used to perform the estimation of the delay and change in delay. The estimation of the current communication delay is performed on every sampling time, and also the adjustment of the controller's command (u_{0k}) according to the fuzzy logic supervisor (Δu_k). For the FUZZY LOGIC CONTROLLER module the input signal is the error (this module contains a block used to extract the change in error), and for the FUZZY LOGIC SUPERVISOR module the input signals are the delay and the change in delay.

timp are efecte negative asupra calității produsului final, astfel că structura de reglare propusă trebuie să rezolve și această problemă pentru a se asigura calitatea dorită a produsului final. Există deja soluții pentru această problemă [13, 14, 15, 16, 17].

Structura hibridă de reglare Fuzzy-Fuzzy

Autorii propun această structură de reglare pentru sisteme SISO (cu o singură intrare și o singură ieșire) neliniare care au întârzieri de comunicație variabile. Întârzierile de comunicație apar din cauza rețelei de comunicație folosite pentru a schimba informații între senzori, regulator și elementele de execuție.

Această structură de reglare este bazată pe logica fuzzy. Prima dată, logica fuzzy este folosită pentru a proiecta regulatorul și, a doua oară, este folosită pentru a proiecta supervisorul care ajustează comanda oferită de către regulator.

În Figura 1 este prezentată structura de reglare, unde: r_k este referința, y_k este parametrul reglat, u_k reprezintă semnalul de comandă, $\hat{\tau}$ este întârzirea estimată și $\dot{\hat{\tau}}$ descrie variația întârzierii. Modulul numit DELAY ESTIMATOR este folosit pentru a se realiza estimarea întârzierii și a variației întârzierii. Estimarea întârzierii de comunicație curente este realizată la fiecare perioadă de eşantionare, la fel și ajustarea comenzii regulatorului (u_{0k}) în conformitate cu supervisorul cu logică fuzzy (Δu_k). În cazul modulului FUZZY LOGIC CONTROLLER, semnalul de intrare este eroarea (acest modul conține o componentă folosită pentru a determina variația erorii) și pentru modulul FUZZY LOGIC SUPERVISOR semnalele de intrare sunt întârzirea și variația întârzierii.

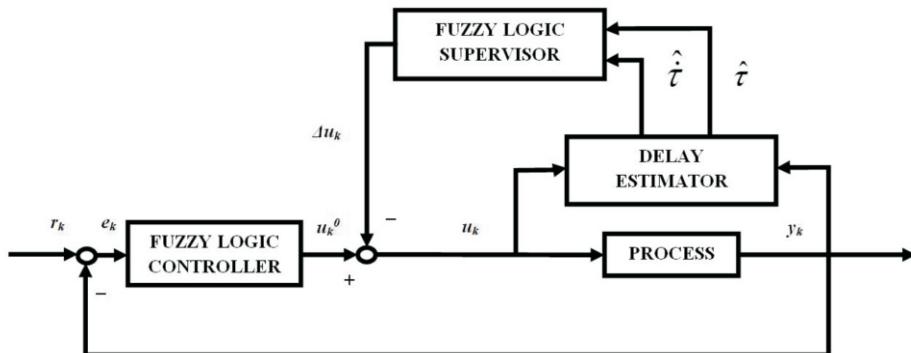


Figure 1. The control strategy
Figura 1. Strategia de control

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:

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

where K_p is the gain, and T_p represents the dynamics of the plant. The communication delay was included into the process model. Thus the model of the process is:

$$H'_p(s) = \frac{B(s)}{A(s)} e^{-\tau s} = \frac{K_p}{T_p s + 1} e^{-\tau s} \quad (2)$$

and τ is variant.

STUDIU DE CAZ

Pentru studiul prezentat s-a considerat reglarea unui singur parametru, și anume valoarea pH-ului. Acest sistem cu o singură intrare și o singură ieșire este neliniar și poate fi modelat cu funcția de transfer:

unde K_p reprezintă factorul de amplificare, iar T_p descrie dinamica procesului. S-a inclus întârzierea de comunicație în modelul procesului. Astfel, modelul procesului devine:

și τ este variabil.

Command Comandă <i>u</i>		Error Eroare									
		N4	N3	N2	N1	Z	P1	P2	P2	P2	
Change in error Variația erorii	N4	N4	N4	N4	N4	N4	N3	N2	N1	Z	
	N3	N4	N4	N4	N4	N3	N2	N1	Z	P1	
	N2	N4	N4	N4	N3	N2	N1	Z	P1	P2	
	N1	N4	N4	N3	N2	N1	Z	P1	P2	P3	
	Z	N4	N3	N2	N1	Z	P1	P2	P3	P4	
	P1	N3	N2	N1	Z	P1	P2	P3	P4	P4	
	P2	N2	N1	Z	P1	P2	P3	P4	P4	P4	
	P3	N1	Z	P1	P2	P3	P4	P4	P4	P4	
	P4	Z	P1	P2	P3	P4	P4	P4	P4	P4	

Figure 2. The rule base of the fuzzy logic controller
Figura 2. Baza de reguli a regulatorului cu logică fuzzy

After the linearization of the process, the fuzzy logic controller was designed (Figure 2) provided that the communication delay is not present ($\tau = 0$ sec).

The membership functions used for the error and for the change in error are P1, P2, P3, P4 for positive values, N4, N3, N2, N1 for negative values, and Z for values which are close to zero or even zero.

După liniarizarea procesului, s-a proiectat regulatorul cu logică fuzzy (Figura 2) luând în considerare faptul că întârzierea de comunicație nu este prezentă ($\tau = 0$ sec).

Funcțiile de apartenență folosite pentru reprezentarea erorii și pentru variația erorii sunt P1, P2, P3, P4 în cazul valorilor pozitive, N4, N3, N2, N1 pentru valori negative, și Z pentru valori care sunt apropiate de zero sau chiar zero.

The fuzzy logic controller was tested using a simulation environment, considering different values for the communication delay, such as $\tau=0.0$, $\tau=3.0$, and $\tau = 5.0$ seconds. The output signals of the process obtained for step input signals in these three cases are presented in Figure 3. It is very easy to observe that the closed-loop system's performances (overshoot, settling time) are getting worse as the communication delay increases. This happens because the controller is not able to provide the same performances for different values of the communication delay.

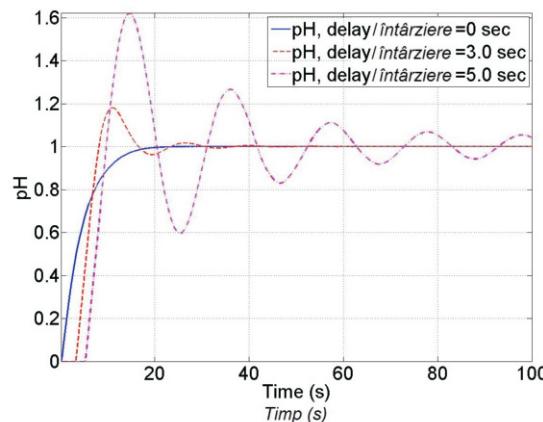


Figure 3. Simulated responses for pH value control using the same fuzzy logic controller and different communication delays
 Figura 3. Răspunsurile simulate obținute pentru reglarea valorii pH-ului folosind același regulator fuzzy și diferite întârzieri de comunicație

The purpose of our control strategy (Figure 1) is to prevent the decrease of performances of the closed-loop system as the delay increases.

For the fuzzy logic supervisor the rule base was used, presented in Figure 4.

Regulatorul cu logică fuzzy a fost testat folosindu-se un mediu de simulare, luându-se în considerare valori diferite pentru întârzirea de comunicație, precum $\tau=0$, $\tau=3$ și $\tau=5$ secunde. Răspunsurile sistemului la semnale de intrare de tip treaptă obținute în cele trei cazuri sunt prezentate în Figura 3. Este ușor de observat că performanțele sistemului în buclă închisă (suprareglaj, timp tranzitoriu) se degradează pe măsură ce valoarea întârzierii de comunicație crește. Acest lucru se întâmplă deoarece regulatorul nu este capabil să asigure aceleasi performanțe pentru valori diferite ale întârzierii de comunicație.

Scopul strategiei de control (Figura 1) este acela de a împiedica degradarea performanțelor sistemului în buclă închisă pe măsură ce valoarea întârzierii de comunicație crește.

Pentru supervisorul cu logică fuzzy s-a folosit baza de reguli prezentată în Figura 4.

Command Comandă <i>u</i>	Delay Întârziere								
	POZ0	POZ1	POZ2	POZ3	POZ4	POZ5	POZ6	POZ7	POZ8
Change in error Variația erorii	POZ4	POZ6	POZ7	POZ8	POZ8	POZ8	POZ8	POZ8	POZ8
	POZ3	POZ5	POZ6	POZ7	POZ8	POZ8	POZ8	POZ8	POZ8
	POZ2	POZ4	POZ5	POZ6	POZ7	POZ8	POZ8	POZ8	POZ8
	POZ1	POZ3	POZ4	POZ5	POZ6	POZ7	POZ8	POZ8	POZ8
	ZERO	POZ2	POZ3	POZ4	POZ5	POZ6	POZ7	POZ8	POZ8
	NEG1	POZ1	POZ2	POZ3	POZ4	POZ5	POZ6	POZ7	POZ8
	NEG2	POZ0	POZ1	POZ2	POZ3	POZ4	POZ5	POZ6	POZ7
	NEG3	POZ0	POZ0	POZ1	POZ2	POZ3	POZ4	POZ5	POZ6
	NEG4	POZ0	POZ0	POZ0	POZ1	POZ2	POZ3	POZ4	POZ5

Figure 4. The rule base of the fuzzy logic supervisor
 Figura 4. Baza de reguli a supervisorului cu logică fuzzy

For the delay and command the POZ0-POZ8 (positive) membership functions are used, and for the change in delay the NEG4, NEG3, NEG2, NEG1 (negative), ZERO (zero), POZ1, POZ2, POZ3, POZ4 membership functions are used.

The cases analyzed in this paper are presented in Table 1:

- Fuzzy (fixed delay) represents the performances of the system obtained in simulation considering different communication delays and no supervision.
- Fuzzy and Fuzzy (fixed delay) represents the performances of the system obtained in simulation considering different communication delays and the supervision.
- Fuzzy (variant delay) represents the performances of the system obtained in simulation considering that the communication delay has variant values between 0 and 8 seconds and no supervision.
- Fuzzy and Fuzzy (variant delay) represents the performances of the system obtained in simulation considering that the communication delay has variant values between 0 and 8 seconds and the supervision.

Pentru întârziere și comandă sunt folosite funcțiile de apartenență POZ0-POZ8 (pozitiv) și pentru variația întârzierii sunt folosite funcțiile de apartenență NEG4, NEG3, NEG2, NEG1 (negativ), ZERO (zero), POZ1, POZ2, POZ3, POZ4.

Cazurile analizate în această lucrare sunt prezentate în Tabelul 1:

- Fuzzy (fixed delay) reprezintă performanțele sistemului obținute în simulare considerând faptul că întârzierea de comunicație are valori fixe și absența supravegherii.
- Fuzzy and Fuzzy (fixed delay) reprezintă performanțele sistemului obținute în simulare considerând faptul că întârzierea de comunicație are valori fixe și prezența supravegherii.
- Fuzzy (variant delay) reprezintă performanțele sistemului obținute în simulare considerând faptul că întârzierea de comunicație are valori variabile cuprinse între 0 și 8 secunde și absența supravegherii.
- Fuzzy and Fuzzy (variant delay) reprezintă performanțele sistemului obținute în simulare considerând faptul că întârzierea de comunicație are valori variabile cuprinse între 0 și 8 secunde și prezența supravegherii.

Table 1: Simulation study analysis
Tabelul 1: Analiza studiului realizat în simulare

Analyzed cases <i>Cazuri analizate</i>			
	Settling Time (s) <i>Perioadă eșantionare (s)</i>	Overshoot (%) <i>Suprareglaj (%)</i>	Steady State Error (%) <i>Eroare staționară (%)</i>
	Oy	Oy	Oy
Fuzzy (fixed delay)	τ=0.0 sec	13.0	0.0
	τ=2.0 sec	8.2	1.5
	τ=3.0 sec	15.0	18.0
	τ=4.0 sec	33.8	39.5
	τ=5.0 sec	89.6	62.0
	τ=6.0 sec	>100.0	84.5
	τ=8.0 sec	Unstable/ <i>Instabil</i>	

Table 1: Continued
Tabelul 1: Continuare

Analyzed cases <i>Cazuri analizate</i>		Settling Time (s) <i>Perioadă eșantionare (s)</i>	Overshoot (%) <i>Suprareglaj (%)</i>	Steady State Error (%) <i>Eroare staționară (%)</i>
		Oy	Oy	Oy
Fuzzy and Fuzzy (fixed delay)	$\tau=0.0$ sec	17.0	0.0	0.0
	$\tau=2.0$ sec	21.0	0.0	0.0
	$\tau=3.0$ sec	26.8	0.0	0.0
	$\tau=4.0$ sec	40.6	0.0	0.0
	$\tau=5.0$ sec	86.0	0.0	0.0
	$\tau=6.0$ sec	>100.0	0.0	0.0
	$\tau=8.0$ sec	>100.0	0.0	0.0
Fuzzy (variant delay)	S1($\tau_{max}=8.0$ sec)	25.6	30.0	0.0
	S2($\tau_{max}=8.0$ sec)	29.4	45.4	0.0
	S3($\tau_{max}=8.0$ sec)	35.8	31.7	0.0
	S4($\tau_{max}=8.0$ sec)	36.4	37.6	0.0
	S5($\tau_{max}=8.0$ sec)	31.6	54.2	0.0
	S6($\tau_{max}=8.0$ sec)	45.4	19.4	0.0
	S7($\tau_{max}=8.0$ sec)	31.0	60.7	0.0
Fuzzy and Fuzzy (variant delay)	S1($\tau_{max}=8.0$ sec)	19.8	1.4	0.0
	S2($\tau_{max}=8.0$ sec)	28.2	0.0	0.0
	S3($\tau_{max}=8.0$ sec)	26.6	0.0	0.0
	S4($\tau_{max}=8.0$ sec)	31.6	0.3	0.0
	S5($\tau_{max}=8.0$ sec)	39.8	1.6	0.0
	S6($\tau_{max}=8.0$ sec)	21.6	0.3	0.0
	S7($\tau_{max}=8.0$ sec)	36.0	1.3	0.0

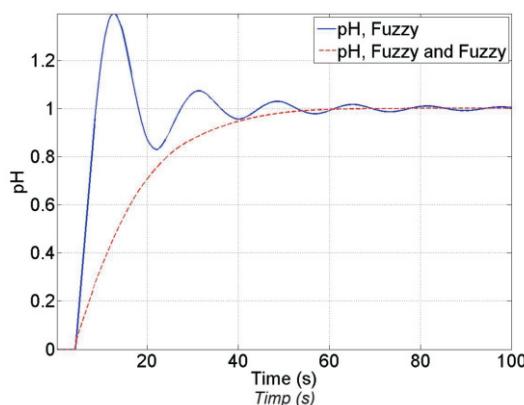


Figure 5. Simulated responses for pH value control in both situations when the delay is fixed ($\tau=4.0$ sec)
Figura 5. Răspunsurile simulate obținute pentru reglarea pH-ului în ambele cazuri, cu întârziere fixă ($\tau=4.0$ sec)

In Figure 5 and Figure 6 are presented the step responses of the system for the cases when supervision is not used, and for the case when the fuzzy logic supervisor is used. The step responses from Figure 5 were obtained considering the delay fixed ($\tau=4.0$ sec). The step responses from Figure 6 were obtained for the case when the delay was variant, and having the distribution presented in Figure 7 (case S7).

În Figura 5 și Figura 6 sunt prezentate răspunsurile la intrare de tip treaptă ale sistemului pentru cazurile în care nu este folosit supervisorul fuzzy și pentru cel în care acesta este folosit. Răspunsurile din Figura 5 au fost obținute considerându-se o întârziere fixă ($\tau=4.0$ sec). Răspunsurile din Figura 6 au fost obținute pentru cazul în care întârzierea a variat, având distribuția prezentată în Figura 7 (cazul S7).

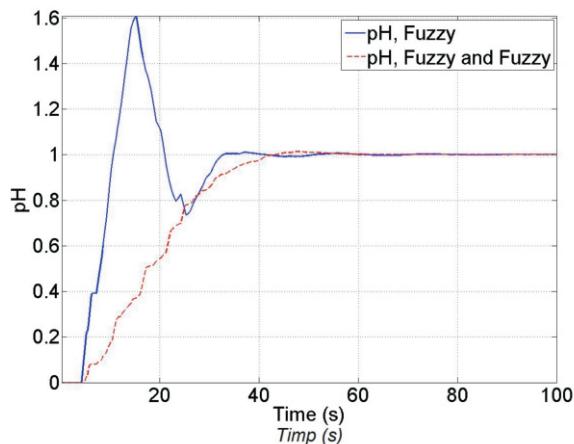


Figure 6. Simulated responses for pH value control in both situations with variant delay (case S7)
Figura 6. Răspunsurile simulate obținute pentru reglarea pH-ului în ambele cazuri, cu întârziere variabilă (cazul S7)

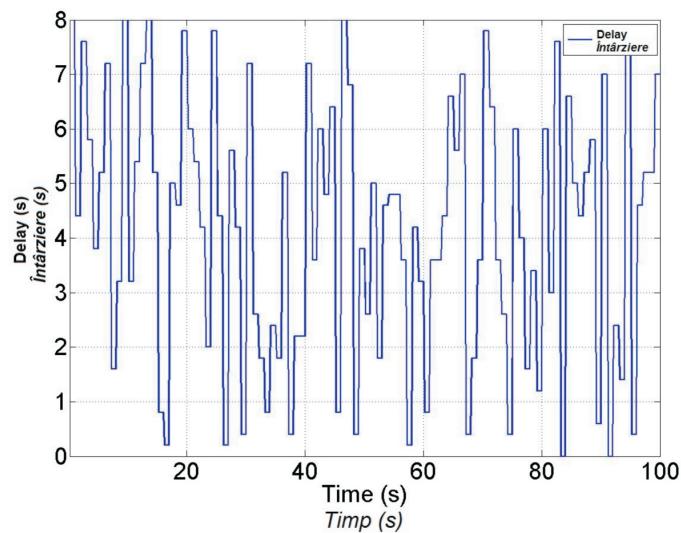


Figure 7. The distribution of the delay (case S7)
Figura 7. Distribuția întâzierii (cazul S7)

After analyzing the simulation results, considering the overshoot and the settling time, it can be observed that when the control strategy proposed in this paper is used, the system's performances are improved.

După analizarea rezultatelor obținute în simulare, din punctul de vedere al suprareglajului și al timpului tranzitoriu, se poate observa că atunci când este folosită structura de reglare propusă se obține o îmbunătățire a performanțelor sistemului.

In this study it was considered that the delay is not higher than 8 seconds and a sampling time of 0.2 seconds.

CONCLUSIONS

In this paper a supervised multi-agent control strategy was proposed for non-linear SISO systems affected by variant communication delays. By using a fuzzy logic supervisor, the command provided by the fuzzy logic controller is adjusted according to the current value of the communication delay. The delay and the change in delay are used as input for the fuzzy logic supervisor.

By analyzing the simulation results, we can see that the performances of the closed-loop system are improved when the control strategy proposed in this paper is used.

In future work our control strategy will be analyzed using a real industrial process.

Acknowledgements

The work has been funded by: the Sectoral Operational Programme Human Resources Development 2007-2013 of the Romanian Ministry of Labour, Family and Social Protection through the Financial Agreements POSDRU/88/1.5/S/61178 and POSDRU/107/1.5/S/76909.

REFERENCES

1. Deselnicu, V., Albu, L., Modern Leather and Fur Processing Technologies (in Romanian), Certex Press, Bucharest, Romania, **2007**.
2. TanWare Solutions for the Leather Industry, available from: <http://www.tanware.com/en/wet-processes/guardware.html> (accessed 02.03.2012).
3. National/European Legislation for the Leather and Footwear Sector (in Romanian), available from: <http://legislatie.innovaleather.ro/> (accessed 04.05.2012).
4. Tuck, D.H., The Manufacture of Upper Leather, Tropical Products Institute, London, **1981**.
5. Wörn, H., Längle, T., Albert, M., Multi-Agent Architecture for Monitoring and Diagnosing Complex Systems, The 4th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT), Greece, **2002**.
6. Cockburn, D., Jennings, N.R., ARCHON: A Distributed Artificial Intelligence System for Industrial Applications, available from: <http://eprints.soton.ac.uk/252186/1/Archon.pdf> (accessed 07.04.2012).
7. Guta, S.A., Intelligent Agents for Modelling and Controlling Processes in the Leather Industry, *Revista de Pielarie Incaltaminte (Leather and Footwear Journal)*, **2011**, 11, 3, 221-232.

În acest studiu s-a considerat că întârzierea de comunicație nu are valori mai mari de 8 secunde, iar perioada de eșantionare este de 0,2 secunde.

CONCLUZII

În această lucrare s-a propus o structură de reglare multi-agent cu supervizare pentru sistemele neliniare cu o singură intrare și o singură ieșire afectate de întârzierile variabile de comunicație. Prin folosirea unui supervisor ce utilizează logica fuzzy este ajustată comanda, determinată de regulatorul care folosește tot o logică fuzzy, în conformitate cu valoarea curentă a întârzierii de comunicație. Intrarea supervisorului fuzzy este reprezentată de întârziere și de variația întârzierii.

Analizându-se rezultatele obținute în simulare, se poate observa că performanțele sistemului în buclă închisă sunt îmbunătățite atunci când este folosită strategia de reglare propusă în această lucrare.

În studiile următoare se va analiza strategia noastră de reglare folosind un proces industrial real.

Mulțumiri

Rezultatele prezentate în acest articol au fost obținute cu sprijinul Ministerului Muncii, Familiei și Protecției Sociale prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013, Contract nr. POSDRU/88/1.5/S/61178 și POSDRU/107/1.5/S/76909.

8. Jones, M.T., Artificial Intelligence: A Systems Approach, Infinity Science Press Llc, **2008**.
9. Wooldridge, M., An Introduction to Multi Agent Systems, John Wiley & Sons, England, **2002**.
10. Antti, P., Information Agent Technology in Process Automation Systems, Master's Thesis, Helsinki University of Technology, **2004**.
11. Dumitrache, I., Automatic Control. Volume 1 (in Romanian), Romanian Academy Press, Bucharest, Romania, **2010**.
12. Patrascu, M., Hanchevici, A.B., Advanced Management Systems. Laboratory Guidelines (in Romanian), Politehnica Press, Bucharest, Romania, **2011**.
13. Aubrun, C., Simon, D., Song, Y., Co-design Approaches for Dependable Networked Control Systems, John Wiley & Sons Inc, USA, **2010**.
14. Lehmann, D., Lunze, J., Event-based Control with Communication Delays, Proceedings of 18th IFAC World Congress, Milan, Italy, **2011**, 3262-3267.
15. Mazo, M., Tabuada, P., Decentralized Event-triggered Control Over Wireless Sensor/Actuator Networks, IEEE Transactions on Automatic Control, **2011**, 2456-2461.
16. Hanchevici, A.B., Dumitrache, I., Online Tuning of PID Controller for Linear SISO System with Random Communication Delay by Using Genetic Algorithms, IFAC Conference on Advances in PID Control, Brescia, Italy, **2012**.
17. Hanchevici, A.B., Dumitrache, I., Intelligent PID Control for Linear SISO System with Random Communication Delay by Using Online Genetic Algorithms, 11th IFAC/IEEE International Conference on Programmable Devices and Embedded Systems, Brno, Czech Republic, **2012**.