

Dariusz LIPIŃSKI, Maciej MAJEWSKI
POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY,
ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin

Koncepcja zdalnej, głosowej i wizualnej komunikacji operatora i systemu monitorowania i optymalizacji procesów mikro- i nanoobróbki

Dr inż. Dariusz LIPIŃSKI

W latach 1999 – 2005 asystent, a od roku 2005 adiunkt w Katedrze Mechaniki Precyzyjnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. W swojej działalności naukowej zajmuje się zastosowaniem metod sztucznej inteligencji do modelowania, optymalizacji i oceny jakości procesów obróbki.



e-mail: dariusz.lipinski@tu.koszalin.pl

Dr hab. inż. Maciej MAJEWSKI

Profesor nadzwyczajny Katedry Mechaniki Precyzyjnej. Specjalność naukowa: budowa inteligentnych systemów interakcji. Stopień doktora n.t. oraz doktora habilitowanego n.t. uzyskał z wyróżnieniami. Współautor 61 publikacji naukowych, w tym 42 zagranicznych. Współpracował w formie pobytu w Komisji Europejskiej (Bruksela, Luksemburg), Uniwersytecie w Louisville, Uniwersytecie Politechnicznym w Walencji i innych przez łączny okres 3 lat.



e-mail: maciej.majewski@tu.koszalin.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono nową koncepcję zdalnej, głosowej i wizualnej komunikacji operatora i systemu monitorowania i optymalizacji procesów mikro- i nanoobróbki. System zdalnego monitorowania i optymalizacji jakości procesów, wyposażony w interfejs wizualny i głosowy, przedstawiono w przykładowym zastosowaniu w procesach precyzyjnego szlifowania. Opracowana koncepcja proponuje architekturę systemu wyposażoną w warstwę analizy danych, warstwę nadzorowania procesu, warstwę decyzyjną, podsystem komunikacji głosowej w języku naturalnym oraz podsystem komunikacji wizualnej z opisem głosowym. Interakcja operatora z systemem za pomocą mowy i języka naturalnego zawiera inteligentne mechanizmy służące do identyfikacji biometrycznej operatora, rozpoznawania mowy, rozpoznawania słów składowych i komunikatów operatora, analizy składni komunikatów, analiza skutków poleceń, ocena bezpieczeństwa poleceń. Interakcja systemu z operatorem za pośrednictwem komunikatów wizualnych z opisem głosowym zawiera inteligentne mechanizmy służące do generowania wykresów i raportów, klasyfikacji form przekazów i ich tworzenia, generowania komunikatów w postaci graficznej i tekstowej, konsolidacji i analizy treści komunikatów, oraz syntezy komunikatów multimedialnych. Artykuł przedstawia również koncepcję inteligentnych metod i algorytmów jakościowego opisu procesu obróbki na podstawie analizy danych pomiarowych z zastosowaniem systemu ekspertowego opartego na regresyjnych sieciach neuronowych.

Słowa kluczowe: monitorowanie i optymalizacja procesów mikro- i nanoobróbki, inteligentne systemy monitorowania i optymalizacji, interakcja operatora z systemem, inteligentny interfejs do sterowania procesami, komunikacja głosowa i wizualna, interfejs mowy, jakość procesu, analiza danych pomiarowych, systemy ekspertowe, sztuczna inteligencja.

A concept of distant voice and visual communication between the operator and a system for monitoring and optimization of micro- and nano-machining processes

Abstract

The paper deals with a new concept of distant voice and visual communication between the operator and a system for monitoring and optimization of micro- and nano-machining processes. The distant system for monitoring and optimization of the process quality, equipped with a visual and vocal interface, is presented in an exemplary application to precision grinding. There is proposed an architecture of the system equipped with a data analysis layer, a process supervision layer, a decision layer, a communication subsystem using speech and natural language, and a visual communication subsystem using vocal descriptions. As the system is equipped with several intelligent layers, it is capable of control, supervision and optimization of the processes of micro- and nano-machining. In the proposed system, computational intelligence methods allow for real-time data analysis of the monitored process, configuration of the system, process supervision based on process features and quality models. The system is also capable of detection of inaccuracies, estimation of inaccuracy results, compensation of inaccuracy results, and selection of machining parameters and conditions. In addition, it conducts assessment of the operator's decisions. The system also consists of meaning analysis mechanisms of operator's messages and

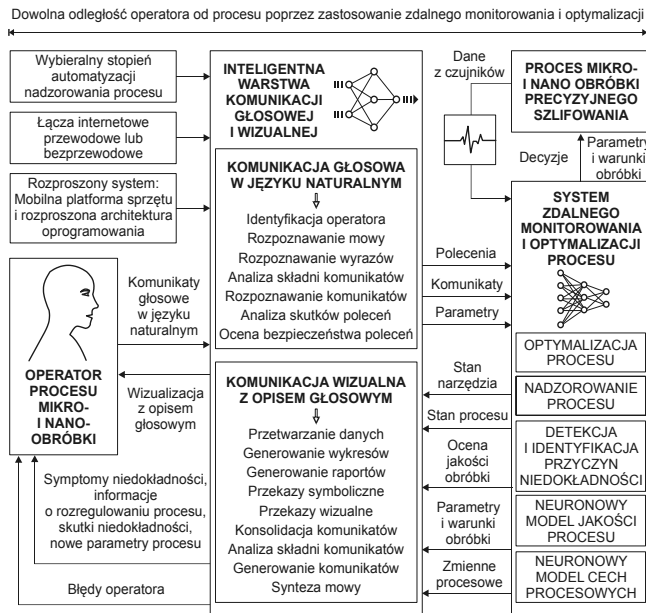
commands given by voice in a natural language, and various visual communication forms with the operator using vocal descriptions. The layer for data presentation and communication provides data and information about the machining parameters and conditions, tool condition, process condition, estimation of the process quality, and process variables. The interaction between the operator and the system by speech and natural language contains intelligent mechanisms for operator biometric identification, speech recognition, word recognition, recognition of messages and commands, syntax analysis of messages, and safety assessment of commands. The interaction between the system and the operator using visual messages with vocal descriptions includes intelligent mechanisms for generation of graphical and textual reports, classification of message forms, generation of messages in the graphical and textual forms, consolidation and analysis of message contents, synthesis of multimedia messages. In the paper, Fig. 1 presents the concept of distant voice and visual communication between the operator and a system for monitoring and optimization of micro- and nano-machining processes. The concept of the system of distant monitoring and optimization of the precision grinding processes using voice and visual communication between the operator and the system is shown in Fig. 2, while the complete structure of the system is depicted in Fig. 3. The paper also presents a concept of intelligent methods and algorithms (Fig. 4) for describing the machining process quality on the basis of the measurement data analysis using an expert system equipped with regression neural networks.

Keywords: monitoring and optimization of micro- and nano-machining processes, intelligent systems of monitoring and optimization, interaction between operators and systems, intelligent interface for system control, voice and visual communication, speech interface, process quality, measurement data analysis, expert systems, artificial intelligence.

1. Koncepcja interaktywnego systemu zdalnego monitorowania i optymalizacji procesów mikro- i nanoobróbki

Według proponowanej nowej koncepcji (rys. 1) procesy mikro- i nanoobróbki mogą być realizowane z zastosowaniem hybrydowego systemu monitorowania, optymalizacji i prognozowania jakości procesów obróbki wyposażonego w warstwę zdalnej, głosowej i wizualnej komunikacji operatora i systemu. System monitorowania i optymalizacji jakości procesów mikro- i nanoobróbki, przedstawiany na przykładzie precyzyjnego szlifowania (rys. 2), cechuje się również możliwościami innych zastosowań. Do głównych zadań tego systemu należy: modelowanie procesu, ocena skutków niedokładności, identyfikacja przyczyn niedokładności oraz optymalizacja warunków i parametrów procesu.

System charakteryzuje zdolność do określania relacji pomiędzy parametrami i warunkami obróbki a zmiennymi procesowymi oraz stopnia i charakteru wpływu zmiennych procesowych na monitorowane parametry jakości wyrobu. Zaproponowana strategia monitorowania procesu wykorzystuje opracowane algorytmy wykrywania niedokładności w procesie, w oparciu o przeprowadzaną analizę monitorowanych zmiennych procesu: siłą, drgań, emisji akustycznej, hałasu.



Rys. 1. Konceptcja zdalnej, głosowej i wizualnej komunikacji operatora i systemu monitorowania i optymalizacji procesów mikro- i nanoobróbki
 Fig. 1. The concept of distant voice and visual communication between the operator and a system for monitoring and optimization of micro- and nano-machining processes

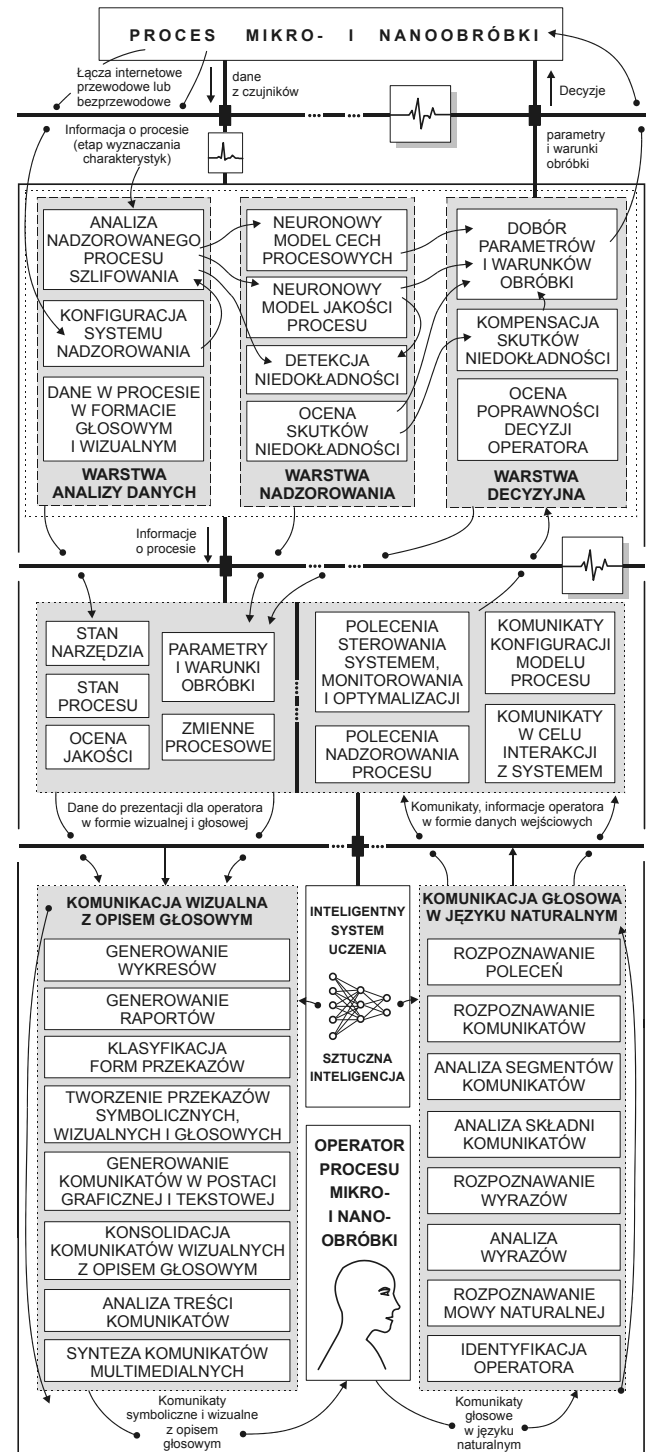
System pozwala na ocenę skutków niedokładności poprzez analizę zmian znormalizowanych zmiennych procesowych, co umożliwia niezależnie procedur detekcji niedokładności oraz lokalizacji ich przyczyn od charakterystycznych cech monitorowanego procesu. Normalizację monitorowanych zmiennych procesowych przeprowadzić można z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych. Znormalizowane wartości zmiennej procesowej stanowią informację diagnostyczną (zmienną diagnostyczną), będącą podstawą do oceny stopnia niedokładności obróbki.

Ocena poprawności prowadzonej obróbki dotyczy podjęcia decyzji, czy monitorowany proces prowadzi do uzyskania wyrobów spełniających kryteria jakości, a więc obróbka prowadzona jest prawidłowo, czy też w wyniku obróbki otrzymujemy wyroby znajdujące się poza wymaganą klasą jakości. Podjęcie tych decyzji może zostać przeprowadzone w oparciu o wartości znormalizowanych zmiennych procesowych. System normalizacji zmiennych procesowych odwzorowuje przestrzeń monitorowanych zmiennych procesowych, wykorzystywanych do celów diagnostycznych, w przestrzeń zmiennych diagnostycznych. Identyfikacji przyczyn powstania niedokładności w monitorowanym procesie odwzorowuje przestrzeń wartości zmiennych diagnostycznych w przestrzeń stanów procesu. W systemie wartości sygnałów diagnostycznych składają się na obraz stanu procesu, zatem proces identyfikacji przyczyn niedokładności sprowadza się do problemu rozpoznawania obrazów i wykorzystuje się do jego rozwiązania sztuczne sieci neuronowe lub metody logiki rozmytej. Optymalizacja parametrów procesu przeprowadzana jest z wykorzystaniem opracowanych modeli procesu uwzględniając probabilistyczny charakter procesów precyzyjnego szlifowania. Optymalne parametry procesu, oraz odpowiadające im wartości monitorowanych zmiennych procesowych powinny zapewniać przyjęte prawdopodobieństwo, że w wyniku obróbki uzyskany przedmiot będzie spełniał założone wymagania jakości.

Proponowany system zdalnego monitorowania i optymalizacji procesów cechuje uniwersalność zastosowań opracowanych algorytmów detekcji i lokalizacji przyczyn niedokładności, niezależnie od przyjętych parametrów i warunków obróbki, oraz możliwość wykorzystywania systemu do monitorowania przebiegu innych procesów wytwarzania.

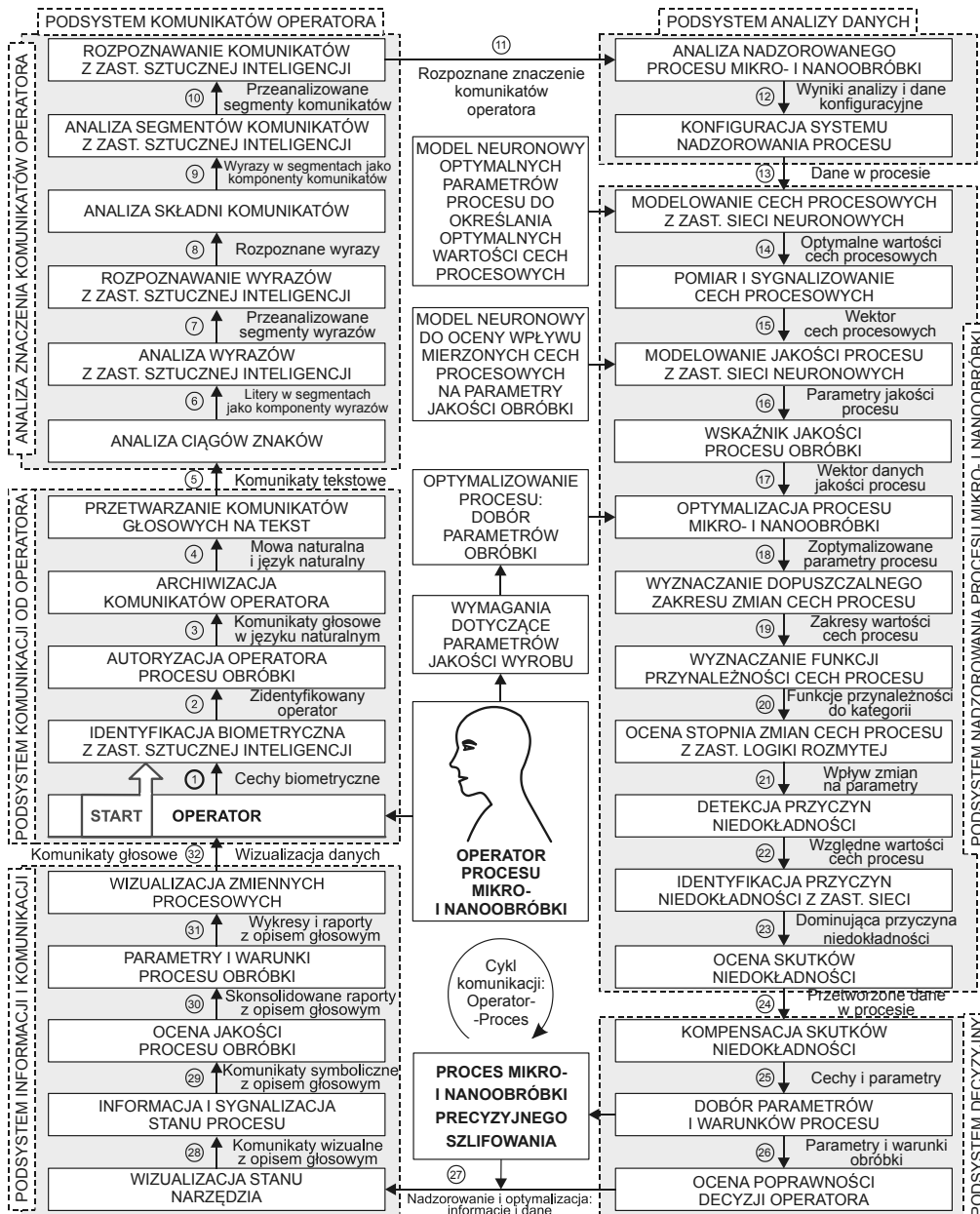
Proponowana nowa koncepcja realizacji procesów mikro- i nanoobróbki z zastosowaniem hybrydowego systemu monitorowania, optymalizacji i prognozowania jakości procesów obróbki

wyposażonego w warstwę zdalnej, głosowej i wizualnej komunikacji operatora i systemu została przedstawiona na rysunku 2.



Rys. 2. Konceptcja systemu zdalnego monitorowania i optymalizacji procesów precyzyjnego szlifowania z zastosowaniem głosowej i wizualnej komunikacji operatora i systemu
 Fig. 2. The concept of a system of distant monitoring and optimization of the precision grinding processes using voice and visual communication between the operator and the system

System zdalnego monitorowania i optymalizacji jakości procesów, wyposażony w interfejs wizualny i głosowy, przedstawiono w przykładowym zastosowaniu w procesach precyzyjnego szlifowania. Opracowana koncepcja proponuje architekturę zdalnego systemu wyposażoną w warstwę analizy danych, warstwę nadzorowania procesu, warstwę decyzyjną, podsystem komunikacji głosowej w języku naturalnym oraz podsystem komunikacji wizualnej z opisem głosowym.



Rys. 3. Budowa systemu zdalnego monitorowania i optymalizacji procesów precyzyjnego szlifowania z zastosowaniem głosowej i wizualnej komunikacji operatora i systemu

Fig. 3. The structure of a system of distant monitoring and optimization of the precision grinding processes using voice and visual communication of the system with the operator

Interakcja operatora ze zdalnym systemem za pomocą mowy i języka naturalnego zawiera inteligentne mechanizmy służące do identyfikacji biometrycznej operatora, rozpoznawania mowy, rozpoznawania słów składowych i komunikatów operatora, rozpoznawania poleceń, analizy składni komunikatów, analiza skutków poleceń, ocena bezpieczeństwa poleceń.

Interakcja systemu z operatorem za pośrednictwem komunikatów wizualnych z opisem głosowym zawiera inteligentne mechanizmy służące do generowania wykresów i raportów, klasyfikacji form przekazów i ich tworzenia, generowania komunikatów w postaci graficznej i tekstowej, konsolidacji i analizy treści komunikatów oraz syntezy komunikatów multimedialnych.

Prace [1, 2, 3, 4, 7] przedstawiają pionierskie osiągnięcia w zakresie inteligentnych systemów interakcji urządzeń technicznych i ich operatorów. Natomiast prace [5, 6] przedstawiają innowacyjne rozwiązania dotyczące nadzorowania procesów precyzyjnego szlifowania oraz hybrydowego systemu monitorowania, optymalizacji i prognozowania jakości procesów precyzyjnego szlifowania.

2. System zdalnego monitorowania i optymalizacji procesów precyzyjnego szlifowania z zastosowaniem głosowej i wizualnej komunikacji operatora

Proponowany system (rys. 3) charakteryzuje się podziałem na podsystemy składające się z wyspecjalizowanych modułów. Podsystem komunikacji od operatora dokonuje identyfikacji biometrycznej operatora, archiwizacji oraz przetwarzania komunikatów głosowych na tekst. Podsystem analizy znaczenia komunikatów operatora przeprowadza analizę ciągów znaków i wyrazów, rozpoznawanie wyrazów, analizę składni komunikatów i ich segmentów, oraz rozpoznawanie komunikatów.

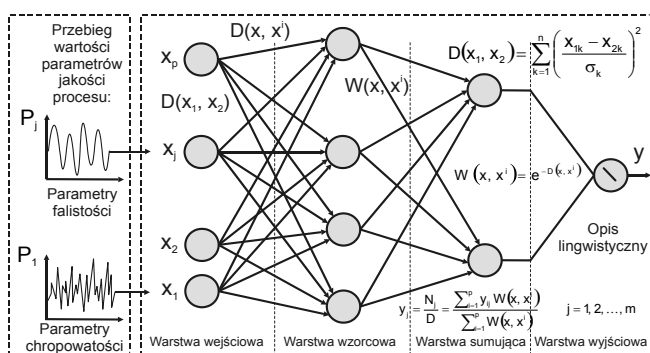
Podsystem analizy danych dokonuje analizy nadzorowanego procesu oraz konfiguruje system nadzorowania. Podsystem nadzorowania procesu mikro- i nanoobróbki realizuje zadania dotyczące modelowania cech procesowych, pomiarów i sygnalizowania cech procesowych, modelowania jakości procesu, oraz określania wskaźnika jakości obróbki. W podsystemie nadzorowania dokonana jest również optymalizacja procesu oraz wyznacza się zakresy zmian cech procesu oraz funkcje przynależności cech procesu. Podsystem nadzorowania realizuje również ocenę stopnia

zmian cech procesu, detekcję przyczyn niedokładności, identyfikację przyczyn i ocenę skutków niedokładności.

Podsystem decyzyjny dokonuje kompensacji skutków niedokładności, doboru warunków i parametrów procesu, oraz oceny poprawności decyzji operatora. Natomiast podsystem informacji i komunikacji wizualizuje stan narzędzia, informuje i sygnalizuje stan procesu, przekazuje dane dotyczące oceny jakości obróbki, warunków i parametrów procesu, oraz dokonuje wizualizacji zmiennych procesowych.

3. Podstawy systemu ekspertowego wspomagającego operatora

Podsystem nadzorowania procesu wyposażony jest w metody i algorytmy jakościowego opisu procesu obróbki na podstawie analizy danych pomiarowych z zastosowaniem regresyjnych sieci neuronowych (wstępną koncepcję sieci przedstawiono w pracy [8]). Opracowane rozwiązanie pozwala na stworzenie systemu ekspertowego do wspomagania operatora w zakresie monitorowania procesu. Podsystem komunikacji przesyła jakościowy opis procesu do operatora w formie wizualnej z opisem głosowym.



Rys. 4. Metodyka jakościowego opisu procesu z zast. modelu neuronowego
Fig. 4. The methodology for describing a process quality using a neural model

W systemie ekspertowym opartym na opracowanym modelu neuronowym, prognozowane są parametry jakości procesu obróbki na podstawie danych pomiarowych oraz dokonuje się opisu wartości tych parametrów z użyciem języka naturalnego.

W modelu zastosowana sieć neuronowa otrzymuje wektor wejściowy x o długości n reprezentujący przebieg wartości wybranego parametru jakości procesu oraz generuje wektor wyjściowy y' o długości m , gdzie y' jest prognozą rzeczywistej wartości wyjścia y będącego opisanym lingwistycznie przebiegiem wartości wybranego parametru obróbki. Model neuronowy realizuje to poprzez porównanie wejściowego wektora przebiegu wartości wybranego parametru jakości x z zestawem p -zapisanych wzorców x^i (węzły wzorcowe) dla których znane jest rzeczywiste wyjście y_i , będące przebiegiem wartości parametru jakości. Prognozowane wyjście y' stanowi średnią ważoną wszystkich powiązanych zapisanych wyjść y_{ij} . Każdy prognozowany składnik wyjściowy y'_j jest funkcją składników odpowiedniego wyjścia y_j związanych z każdym zapisanym wzorcem x^i . Waga $W(x, x^i)$ odzwierciedla wpływ każdego znanego przebiegu parametru y_i na prognozowany przebieg wartości, stanowiąc miarę podobieństwa każdego węzła wzorcowego do wzorca wejściowego. Przewidywana wielkość wyjściowa zawsze leży pomiędzy wielkością minimalną i maksymalną oczekiwanych wyjść (y_{ij}) związanych z zapisanymi wzorcami ($0 \leq W \leq 1$).

Model neuronowy regresyjny stanowi interpolator, który interpoluje pomiędzy żądanymi wyjściami węzłów warstwy wzorcowej zlokalizowanych blisko wektora wejściowego w przestrzeni wejść. Sposób standardowy definiowania funkcji podobieństwa W jest oparty na funkcji odległości $D(x_1, x_2)$, która dostarcza miary

odległości lub odmienności pomiędzy dwoma wzorcami x_1 oraz x_2 . Odległość i funkcje wag opisują zależności na rys. 4. Każda zmienna wejściowa posiada swoją wartość sigma (σ_k).

W opracowanym modelu neuronowym warstwa wejściowa przechowuje wektor wejściowy x . Warstwą drugą jest warstwa wzorcowa, która dokonuje obliczeń odległości $D(x, x^i)$ pomiędzy wejściowym wzorcem x oraz zapisanymi wzorcami x^i . Wyjścia węzłów wzorcowych reprezentują wielkości $W(x, x^i)$. Warstwa sumująca dokonuje obliczeń N_j , czyli sum iloczynów $W(x, x^i)$ oraz powiązanych składowych znanych wyjść y_i . Warstwa sumująca posiada również węzeł do obliczeń D , czyli sumy wszystkich $W(x, x^i)$. Warstwa czwarta dokonuje dzielenia N_j przez D w celu wyznaczenia oszacowanej składowej wyjściowej y'_j , która stanowi zlokalizowaną średnią zapisanych wzorców wyjściowych.

Przedstawiona metodyka jakościowego opisu procesu obróbki z zastosowaniem systemu ekspertowego wyposażonego w model neuronowy regresyjny pozwala na dokonywanie opisu wartości parametrów procesu w języku naturalnym.

4. Wnioski

Koncepcja systemu zdalnego monitorowania i optymalizacji jakości procesów mikro- i nanoobróbki, wyposażonego w interfejs głosowy i wizualny oraz sztuczną inteligencję, pozwala na budowę uniwersalnych systemów, niezależnych od rodzaju procesów wytwarzania, parametrów i warunków obróbki. Opracowana blokowa struktura systemu pozwala na wykorzystywanie go do monitorowania przebiegu wielu innych procesów mikro- i nanoobróbki, co pociągnie za sobą konieczność zmiany jedynie zbioru sygnałów wejściowych systemu wraz ze wzorcami.

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki (NCN).

5. Literatura

- [1] Kacalak W., Majewski M.: Inteligentny system obustronnej głosowej komunikacji systemu pomiarowego z operatorem dla technologii mobilnych. *Pomiary Automatyka Kontrola*, Vol. 55, nr 4 (2009). Wydawnictwo PAK 2009. 221-224.
- [2] Kacalak W., Majewski M.: Wybrane problemy efektywnego rozpoznawania pisma odręcznego. *Pomiary Automatyka Kontrola*, Vol. 57, nr 5 (2011). Wydawnictwo PAK 2011. 479-482.
- [3] Kacalak W., Majewski M.: Ocena predyspozycji operatora w zadaniach decyzyjnych w inteligentnym systemie interakcji z urządzeniami technicznymi. *Pomiary Automatyka Kontrola*, Vol. 57, nr 5 (2011). Wydawnictwo PAK 2011. 515-518.
- [4] Kacalak W., Majewski M.: Inteligentne, interaktywne, zautomatyzowane systemy projektowania elementów i zespołów maszyn na podstawie ich cech opisywanych w języku naturalnym. *Pomiary Automatyka Kontrola*, Vol. 58, nr 5 (2012). Wyd. PAK 2012. 471-474.
- [5] Lipiński D.: Nadzorowanie jakości w procesach automatycznego szlifowania małych elementów ceramicznych z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji. Praca doktorska. Politechnika Koszalińska, Koszalin 2005.
- [6] Lipiński D., Kacalak W.: Assessment of the accuracy of the process of ceramics grinding with the use of fuzzy interference. *Lecture Notes in Computer Science* 4431. Springer 2007. 596-603.
- [7] Majewski M.: Podstawy budowy inteligentnych systemów interakcji urządzeń technologicznych i ich operatorów. Monografia nr 172. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2010.
- [8] Specht D.F.: A general regression neural network. *IEEE Transactions on Neural Networks*. Vol. 2, No. 6 (November 1991) 568-576.

otrzymano / received: 14.04.2013

przyjęto do druku / accepted: 03.06.2013

artykuł recenzowany / revised paper