

Automatyczny wybór reprezentatywnych fragmentów sygnałów do diagnostyki stanu narzędzia

Automatic selection of representative parts of the sensor signals for tool condition monitoring

KRZYSZTOF BŁAŻEJAK
SEBASTIAN BOMBIŃSKI
MIROSLAW NEJMAN
KRZYSZTOF JEMIELNIAK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.389

W systemach diagnostyki stanu narzędzia skrawającego istotnym problemem jest wybór fragmentów sygnałów, na podstawie których należy prowadzić diagnostykę. W ramach prac stworzono algorytm, który w pełni automatycznym sposobem wybiera fragmenty sygnału, które są reprezentatywne dla stanu narzędzia i pozwalają na prowadzenie obliczeń online.

SŁOWA KLUCZOWE: diagnostyka stanu narzędzia, skrawanie, przetwarzanie sygnałów

For the tool condition monitoring systems important issue is the choice of segments of signals on the basis of which the diagnostics should be carried out. This article presents algorithm for fully automatic selection parts of signals which are representative for the tool condition and allow to carry out the calculations online.

KEYWORDS: tool condition monitoring, signal processing

W zakładach produkcyjnych zajmujących się obróbką skrawaniem, tam gdzie produkowane przedmioty wykonywane są z wysoką dokładnością, ciągle czeka się na skuteczne systemy diagnostyki stanu narzędzia, wspomagające pracę operatorów obrabiarek.

Na rys. 1 przedstawiono schemat działania automatycznego systemu nadzoru stanu narzędzia w obróbce skrawaniem. Nie da się prowadzić automatycznej diagnostyki na całych (ciągłych) przebiegach sygnałów z czujników, gdyż zawierają one szereg zakłóceń. Konieczne jest auto-

matyczne wybranie fragmentów pochodzących wyłącznie ze skrawania [1]. W większości systemów laboratoryjnych i komercyjnych powszechny jest ręczny wybór fragmentów sygnałów poprzez zaznaczanie interesującego fragmentu sygnału lub za pomocą prostych algorytmów sprawdzających przekroczenie przez sygnał z góry ustalonego progu [2-5]. Co więcej – diagnostyka online wykonana na podstawie długich fragmentów sygnału jest niemożliwa dla dzisiejszych komputerów. Wynika to z potrzeby analizy dużej liczby miar (przy 7 czujnikach diagnostycznych ich liczba może wynosić ok. 1000). W [6] udowodniono, że wystarczy wycinek 10 ms (1024 próbek) sygnału do określenia stopnia zużycia narzędzia. Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie dodatkowego programu dzielącego sygnał na fragmenty zwane segmentami, następnie kolejnego, oceniającego jakość wybranych segmentów i dopuszczającego do analizy tylko te, które będą powiązane ze stanem ostrza narzędzia. Procedura ta nazwana segmentacją jest tematem niniejszego artykułu.

Opis algorytmu segmentacji

Segmentacja polega na podzieleniu sygnału w trakcie jego akwizycji na równe fragmenty, np. o długości 1 s. Z takich wycinków, zwanych segmentami, generowane są miary (np. średnia, RMS), na podstawie których szacowana jest wielkość naturalnego zużycia ostrza.

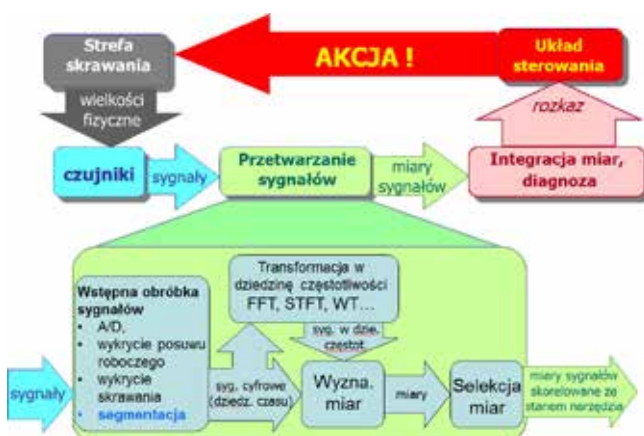
Zanim jednak możliwe będzie przeprowadzenie tych procedur, niezbędne jest wyselekcjonowanie takich segmentów, które będą najlepiej reprezentować stan ostrza w trakcie obróbki. Najbardziej nadają się fragmenty sygnału pochodzące z niezmiennych jego części. Pozwala to uniknąć losowych zmian sygnału, wynikających np. z wchodzenia w materiał czy ze zmiany parametrów skrawania. Sposób oceny niezmienności sygnału F_L został przedstawiony na rys. 2 oraz został opisany równaniem:

$$F_L = \left| \frac{\text{RMS}[A]}{\text{RMS}[B]} - 1 \right| + \left| \frac{\text{RMS}[C]}{\text{RMS}[B]} - 1 \right|$$

Im F_L będzie niższa, tym segment lepiej nadaje się do prowadzenia diagnostyki.

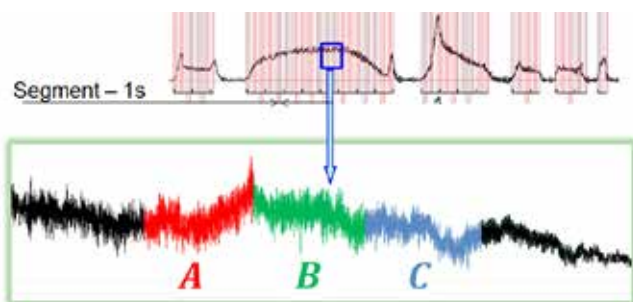
Aby wybrać najlepsze fragmenty sygnału w pierwszej operacji uczącej, zachowując równomierny ich rozkład, grupuje się je w pakiety po 6 i z każdego wybiera segment posiadający najlepszą ocenę. Przedstawia to rys. 3.

Gdyby jednak prowadzić analizę średnio co 6 s, mogłoby się okazać, że przy długich operacjach obróbkowych współczesne komputery będą miały zbyt mało mocy obliczeniowej i pamięci, aby podołać takiemu zadaniu.

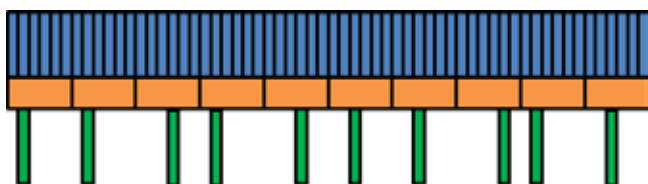


Rys. 1. Budowa automatycznego systemu nadzoru stanu narzędzia

* Mgr inż. Krzysztof Błażej (k.blazejak@zaoios.pw.edu.pl), dr inż. Sebastian Bombiński (s.bombinski@zaoios.pw.edu.pl), dr inż. Mirosław Nejman (m.nejman@zaoios.pw.edu.pl), prof. dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak (k.jemielniak@wip.pw.edu.pl) – Zakład Automatyki, Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem Politechniki Warszawskiej



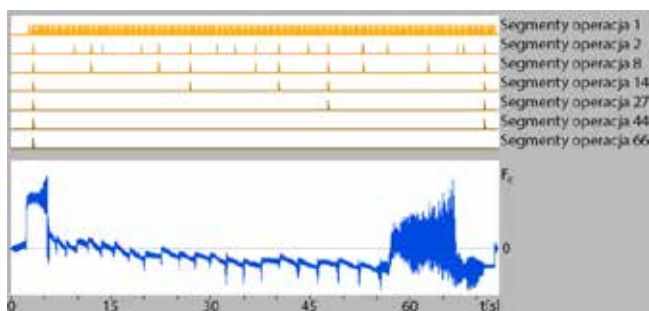
Rys. 2. Ocena jakości segmentu na podstawie sąsiadów



Rys. 3. Grupowanie segmentów w pakiety (znaczenie kolorów: niebieski – kolejne segmenty z sygnału, żółty – oznaczenie pakietu 6 segmentów, zielony – najlepszy segment danego pakietu)

Sposobem na uniknięcie tego problemu jest eliminacja nadmiarowej liczby segmentów, gdyż diagnostyka poziomu naturalnego zużycia nie musi być prowadzona bez przerwy.

Pierwszym zastosowanym ograniczeniem jest ustalenie maksymalnej liczby segmentów w operacji na poziomie 20. Ich selekcji dokonuje się po zakończeniu pierwszej operacji, tak aby w drugiej analizować już tylko te wybrane (rys. 4). Kolejne ograniczenie określa maksymalną liczbę wszystkich zapamiętanych segmentów (iloczyn wykonanych operacji i liczby segmentów przypadających na operację; domyślnie 128). Gdy ta liczba zostanie przekroczona, segmenty są grupowane w pary i znowu z każdej wybierany jest najlepszy. Rysunek 4 przedstawia sposób eliminacji kolejnych segmentów wraz z narastaniem ich liczby wynikającej z dołączania do bazy danych kolejnych operacji (symulowano 66 operacji, do uzyskania jednego segmentu reprezentatywnego dla całej operacji).



Rys. 4. Selekcja segmentów w kolejnych operacjach (piki z górnych przebiegów oznaczają dopuszczenie segmentu do dalszej analizy)

Dzięki wprowadzonej selekcji system diagnostyczny ma wystarczającą moc obliczeniową, by stawiać diagnozę w trakcie obróbki, nawet w przypadku nadzorowania narzędzi, gdy niewielka liczba operacji przypada na okres trwałości. Natomiast dla narzędzi o długim okresie trwałości, które są w stanie wykonać wiele przedmiotów, dopuszczalne jest szacowanie zużycia znacznie rzadziej.

Opisany sposób prowadzenia segmentacji pozwala na wybranie odpowiadających sobie fragmentów sygnału z kolejnych operacji, a ich wybór przeprowadzany jest jedynie w trakcie uczenia układu diagnostycznego. Porównywanie ze sobą różnych segmentów w większości wypadków nie miało by sensu ze względu na różne parametry obróbki

występujące w kolejnych częściach operacji. W związku z tym konieczne jest tworzenie wielu modeli zużycia dla każdego narzędzia (po jednym na każdy segment). Po wyselekcjonowaniu danego segmentu wyznaczane są miary z każdego dostępnego kanału pomiarowego (np. wartość średnia, energia, RMS, miary z dziedziny częstotliwości), a oryginalne przebiegi sygnałów są zapominane, co pozwala zaoszczędzić pamięć komputera. Gdy zakończy się pierwszy okres trwałości ostrza, można stworzyć wstępny model zużycia (dokładniejsze tworzone są po 2. i 3. okresie trwałości). Tak jak wspomniano, każdy segment, ze względu na swój niepowtarzalny charakter, otrzymuje własny model zużycia. Miary podlegają oddzielnej selekcji (według algorytmu opisanego w [7]) w trakcie tworzenia każdego z modeli (na podstawie oceny opartej o RMSE), gdyż dla każdego segmentu możliwy jest inny zestaw optymalnych dla diagnostyki miar. Zużycie ostrza jest szacowane w trakcie kolejnych operacji, w których dysponujemy już modelami przebiegu miar za pomocą algorytmu hierarchicznego. Szacowanie zużycia przebiega niezależnie dla każdego segmentu, a po jego przeprowadzeniu stosuje się zasadę, według której zużycie nie może maleć (wyniki szacowania z kolejnych segmentów mogą być niższe od poprzednich, co byłoby mylące dla operatora obrabiarki).

Podsumowanie

Opisany algorytm prowadzący selekcję segmentów pozwala na działanie systemu zarówno w krótkich, jak i długich operacjach, w których zachodzą zmiany parametrów skrawania, co jest bardzo powszechne w przemyśle. Algorytm ten determinuje również tworzenie kilku modeli zużycia dla jednego narzędzia (każdy odpowiada danemu wycinkowi sygnału w operacjach obróbki seryjnej), co pozwala na prawidłowe porównywanie sygnałów z kolejnych operacji. Przy takim podejściu wyniki szacowania zużycia z każdego segmentu powinny być następnie integrowane w jeden, wspólny wynik widoczny dla operatora.

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz Narodowe Centrum Badań i Rozwoju – Nr umowy Innotool/10/NCBR/2014 – INNOGEAR.

LITERATURA

- Bombiński S., Błażej K., Nejman M., Jemielniak K. „Sensor Signal Segmentation for Tool Condition Monitoring”. *7th HPC 2016 – CIRP Conference on High Performance Cutting. Procedia CIRP 46*. (2016): pp. 155÷160.
- Nordmann International GmbH, „NORDMANN Tool Monitoring”. <http://www.toolmonitoring.com/pdf/Nordmann-Presentation.pdf> (dostęp: 28.11.2015 r.).
- ARTIS GmbH, „Artis”. <http://www.artis.de/en/mediacenter/>. (dostęp: 28.11.2015 r.).
- Tansel I.N. „Tool wear estimation in micro-machining. Part I : tool usage – cutting force relationship”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 40 (2000): pp. 609÷620.
- Jemielniak K. „Commercial tool condition monitoring systems”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 15/10 (1999): pp. 711÷721.
- Li W., Gong W., Obikawa T., Shirakashi T. „A method of recognizing tool-wear states based on a fast algorithm of wavelet transform”. *Journal of Materials Processing Technology*. 170(1) (2005): pp. 374÷380.
- Jemielniak K., Urbański T., Kossakowska J., Bombiński S. „Tool condition monitoring based on numerous signal features”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 59 (2012): pp. 73÷81.