

Streszczenie

W nowoczesnych, przemysłowych systemach sterowania kluczowe jest ciągle monitorowanie jakości regulacji w celu wykrywania wszelkich nieprawidłowości. Utrzymywanie jakości regulacji na wysokim poziomie zapewnia wysoką efektywność energetyczną, jakość produktu końcowego oraz żywotność urządzeń wykonawczych przy niskich odpadach poprodukcyjnych. Biorąc pod uwagę transformację do przemysłu 4.0, algorytmy oceny jakości regulacji są punktem zainteresowania badaczy akademickich i przemysłowych.

Niniejsza rozprawa doktorska opisuje syntezę systemu do oceny jakości regulacji dedykowanego dla przemysłowych, zamkniętych układów regulacji PID, opartego na wykorzystaniu metod uczenia maszynowego. Ogólna koncepcja proponowanego systemu polega na ocenie jakości regulacji na podstawie odpowiedzi układu na celowo wprowadzone zakłócenie obciążeniowe i porównaniu jej z tzw. przebiegiem referencyjnym. Do praktycznego zastosowania, zasugerowano ocenę binarną (OK lub NOK) na podstawie stopnia podobieństwa z przebiegiem referencyjnym. W tym celu, zastosowano algorytmy uczenia maszynowego. Zbiory uczący i walidacyjny składają się z wektora trzydziestu wskaźników oceny jakości regulacji obliczonych na podstawie odpowiedzi układu na zakłócenie obciążeniowe wraz z oceną (OK lub NOK) jako etykietą. Opracowano automatyczną metodę etykietowania opartą na wskaźnikach częstotliwościowych: zapasie amplitudy i fazy uzupełnionych o znormalizowaną odległość od przebiegu referencyjnego. Wygenerowane zbiory wykorzystano do treningu metod uczenia maszynowego, uzyskując wysoką dokładność klasyfikacji (powyżej 95% dla wybranych algorytmów). Działanie zaproponowanego systemu zostało porównane z innymi istniejącymi metodami i zweryfikowane na podstawie symulacji i badań eksperymentalnych. W tym celu, przygotowano implementację systemu z wykorzystaniem infrastruktury chmurowej oraz zweryfikowano ją na rzeczywistej instalacji laboratoryjnej. Zarówno symulacja jak i walidacja eksperymentalna potwierdzają wysoką dokładność oceny jakości regulacji.

Wygenerowany zbiór został przebadany pod kątem potencjalnych korelacji pomiędzy wybranymi wskaźnikami oceny jakości regulacji, a następnie metodą *forward feature selection* wyznaczono uniwersalny podzbiór cech, redukując liczbę trzydziestu do siedmiu cech. Zmniejszyło to drastycznie zasoby obliczeniowe i pamięciowe wymagane dla systemu i pozwoliło na przygotowanie implementacji dla sterowników PLC. Blok funkcyjny ogólnego przeznaczenia został przygotowany dla sterowników Siemens S7-1200/1500, zaimplementowany w oprogramowaniu TIA Portal. Składa się on z kilku funkcjonalności, m.in. identyfikacji modelu procesu, obliczania wskaźników oceny jakości oraz klasyfikacji jakości regulacji. Jego działanie zostało zweryfikowane na rzeczywistej instalacji laboratoryjnej i ponownie uzyskane wyniki wskazują wysoką dokładność oceny regulacji.

Podsumowując, zaproponowany system zapewnia wysoką dokładność oceny jakości regulacji dla rozważanej klasy układów zamkniętych. Tym samym potwierdzono następującą tezę: *opracowany system może jednoznacznie ocenić jakość regulacji na podstawie odpowiedzi na zakłócenie obciążeniowe dla zamkniętych układów w automatyce procesowej, przy jasno zdefiniowanych założeniach i ograniczeniach.*