

Metody estymacji uszkodzeń i sterowania tolerującego uszkodzenia dla systemów Takagi-Sugeno

Autor: mgr inż. Norbert Kukurowski

Promotor: dr hab. inż. Marcin Mrugalski prof. UZ

Wydział Informatyki, Elektrotechniki i Automatyki,

Instytut Automatyki, Elektroniki i Elektrotechniki,

Zielona Góra, Polska

Streszczenie

W dzisiejszych czasach mamy do czynienia z rosnącą złożonością systemów przemysłowych, które niejednokrotnie wyposażone są znaczną liczbę czujników i elementów wykonawczych. Procesy przemysłowe są zwykle skomplikowane a w konsekwencji podatne na uszkodzenia. Zatrzymanie procesu lub zła jakość produktu końcowego wynikająca z awarii systemu może spowodować poważne straty ekonomiczne, które są często wiele razy większe od poniesionych kosztów naprawy komponentów systemu przemysłowego. Dodatkowo, wraz z nadejściem epoki Przemysłu 4.0 oraz zwiększenia stopnia automatyzacji, robotyzacji i informatyzacji następuje dalszy wzrost liczby komponentów systemów, czujników i urządzeń wykonawczych. Taki wzrost może zwiększyć prawdopodobieństwo jednoczesnego wystąpienia uszkodzenia różnych komponentów systemu. Co więcej, zwiększa się również prawdopodobieństwo wystąpienia wielokrotnych uszkodzeń oraz wywołanych nimi strat ekonomicznych. W związku z tym estymacja uszkodzeń zyskuje coraz większą uwagę zarówno z praktycznego punktu widzenia oraz jest ważnym aspektem we współczesnej diagnostyce uszkodzeń (FD), która może dostarczyć wiedzę o obecności, lokalizacji i wielkości uszkodzenia. Takie informacje są niezbędne, aby możliwe było zastosowanie aktywnego sterowania tolerującego uszkodzenia (FTC), które może prowadzić do minimalizacji lub eliminacji strat za pomocą zastosowania odpowiedniej strategii sterowania systemem.

Celem głównym niniejszej rozprawy badawczej jest opracowanie strategii sterowania tolerującego uszkodzenia w oparciu o diagnostykę uszkodzeń z zastosowaniem w predykcji pozostałej żywotności komponentów systemu w postaci Takagi-Sugeno. Natomiast cele szczegółowe zostały zdefiniowane w następujący sposób:

- Opracowanie metod estymacji jednoczesnych uszkodzeń czujników i urządzeń wykonawczych dla systemów Takagi-Sugeno.
- Opracowanie metod sterowania tolerującego wielokrotne uszkodzenia czujników i urządzeń wykonawczych dla systemów Takagi-Sugeno.
- Opracowanie metody estymacji uszkodzeń i sterowania tolerującego uszkodzenia z zastosowaniem w predykcji pozostałej żywotności komponentów dla systemów Takagi-Sugeno.
- Implementacja i weryfikacja opracowanych metod na wybranych systemach laboratoryjnych.

- Przeprowadzenie szczegółowej analizy funkcjonowania opracowanych rozwiązań dla różnych scenariuszy uszkodzeń.
- Analiza otrzymanych wyników.

Teza badawcza postawiona w pracy doktorskiej została sformułowana w następujący sposób:

Możliwe jest opracowanie efektywnego sterowania tolerującego uszkodzenia z zastosowaniem metod odpornej estymacji uszkodzeń bazujących na obserwatorach oraz predykcji pozostałej żywotności komponentów systemów Takagi-Sugeno uwzględniając jednoczesne uszkodzenia urządzeń wykonawczych i czujników oraz zakłócenia i błędy modelowania.

W związku z powyższym w pierwszej części niniejszej rozprawy opracowano metody projektowania obserwatora adaptacyjnego i obserwatora z rozszerzonym wektorem stanu dla systemu Takagi-Sugeno. Co więcej w systemie Takagi-Sugeno uwzględniono możliwość wystąpienia uszkodzeń urządzenia wykonawczego oraz czujnika oraz możliwe zakłócenia w postaci niepewności pomiaru i procesu. Odporność obserwatorów została zagwarantowana z wykorzystaniem metody kwadratowej ograniczoności. Procedura projektowania obydwu obserwatorów sprowadza się do obliczenia otrzymanych liniowych nierówności macierzowych i wyznaczenia macierzy wzmocnień. Poprawność i dokładność projektowania obydwu obserwatorów została zweryfikowana z wykorzystaniem układu baterii, którego model Takagi-Sugeno został opracowany na podstawie danych eksperymentalnych. W celu weryfikacji efektywności opracowanej metody zaproponowano scenariusz uszkodzeń, w którym uwzględniono trzy rodzaje uszkodzeń tj. permanentne, wolno-narastające i chwilowe, gdzie uszkodzenia czujnika i urządzenia wykonawczego w danych chwilach czasowych występują jednocześnie. Otrzymane wyniki estymacji stanów oraz uszkodzeń porównano pomiędzy obserwatorem adaptacyjnym a obserwatorem z rozszerzonym wektorem stanu. Dodatkowo, w pracy przedstawiono również możliwość zastosowania opracowanej metody estymacji w zadaniu predykcji pozostałej żywotności baterii w pojeździe sterowanym automatycznie (AGV).

W kolejnej części niniejszej rozprawy opracowano metodę projektowania sterowania tolerującego uszkodzenia bazującego na obserwatorze adaptacyjnym oraz na obserwatorze z rozszerzonym wektorem stanu dla systemu Takagi-Sugeno. W tym przypadku również uwzględniono, iż system może być podatny na uszkodzenia czujników i urządzeń wykonawczych oraz możliwość wystąpienia zakłóceń w postaci niepewności pomiaru i procesu. Odporność obserwatorów tak jak regulatorów została zagwarantowana z wykorzystaniem metody kwadratowej ograniczoności. Procedura projektowania sterowania tolerującego sprowadza się do obliczenia dwóch liniowych nierówności macierzowych oraz wyznaczenia macierzy wzmocnień osobno dla obserwatora i regulatora. W celu weryfikacji poprawności i efektywności zaproponowanej metody projektowania sterowania tolerującego uszkodzenia wykorzystano dwa obiekty tj. system trzech zbiorników oraz dwuwirnikowy system aerodynamiczny. W przypadku obydwu systemów porównano wyniki pomiędzy metodą FTC bazującą na obserwatorze adaptacyjnym a metodą FTC wykorzystującą obserwator z rozszerzonym wektorem stanu. Dodatkowo, w celu weryfikacji dokładności i efektywności opracowanych metod, w obydwu przypadkach uwzględniono scenariusz uszkodzeń, gdzie zastosowano trzy ich rodzaje tj. permanentne, wolno-narastające i chwilowe. Ponadto, przedstawiono również możliwość zastosowania opracowanych metod w predykcji

pozostałej żywotności urządzeń wykonawczych oraz czasu do wystąpienia awarii przy danym poziomie uszkodzenia dla dwuwirnikowego systemu aerodynamicznego. Otrzymane wyniki w przypadku obydwu obiektów porównano dla metod FTC bazującej na obserwatorze adaptacyjnym i metody FTC wykorzystującej obserwator z rozszerzonym wektorem stanu. Uzyskane wyniki merytoryczne i eksperymentalne potwierdziły wysoką efektywność oraz poprawność opracowanych metod projektowania obserwatorów stosowanych w zadaniach estymacji uszkodzeń oraz metod sterowania tolerującego uszkodzenia. Tym samym można stwierdzić, iż przyjęta teza została udowodniona.

Reasumując, spośród najważniejszych wyników stanowiące wkład w rozwój dyscypliny można wymienić:

1. Opracowanie metod estymacji jednoczesnych uszkodzeń czujników i urządzeń wykonawczych dla systemu Takagi-Sugeno z użyciem:
 - obserwatora adaptacyjnego,
 - obserwatora z rozszerzonym wektorem stanu.
2. Opracowanie metod sterowania tolerującego wielokrotne uszkodzenia czujników i urządzeń wykonawczych dla systemu Takagi-Sugeno z użyciem:
 - obserwatora adaptacyjnego,
 - obserwatora z rozszerzonym wektorem stanu.
3. Zastosowanie opracowanych obserwatorów w predykcji pozostałej żywotności komponentów systemu Takagi-Sugeno.
4. Walidacja skuteczności i dokładności opracowanych metod estymacji uszkodzeń, sterowania tolerującego wielokrotne uszkodzenia, oraz predykcji pozostałej żywotności komponentów systemu typu Takagi-Sugeno dla:
 - układu trzech zbiorników,
 - aerodynamicznego systemu dwuwirnikowego,
 - systemu baterii opartej na modelu obwodu rezystor-kondensator 2-go rzędu.