

Nowe wskaźniki upraszczające badania układów nieliniowych z zastosowaniami do badań złożonych zachowań dynamicznych układów sprzężonych

Sprzężone układy nieliniowe i złożone sieci oscylatorów (ang. Complex Nonlinear Systems - CNS) wzbudzają ogromne zainteresowanie i fascynację wielu naukowców. W ostatnich dziesięcioleciach wiele wysiłku poświęcono badaniu dynamiki takich systemów. Zainteresowanie to wynika z istnienia szerokiego wachlarza złożonych zachowań zbiorowych, takich jak różne rodzaje synchronizacji, stany zwane chimerymi, hiperchaos, multistabilność i inne, które takie systemy wykazują, a także różnych wynikających z nich zastosowań oraz obserwowanych analogii w rzeczywistych zjawiskach. Obecnie, poza poszukiwaniem nowych wzorców istniejących w CNS, badania koncentrują się na problemach związanych z wyjaśnianiem ich elementarnych i złożonych właściwości, poszukiwaniem warunków koniecznych i wystarczających dla pojawiania się wzorców występujących w dynamice takich układów, jak np. „podróżujące” czy „oddychające” chimery oraz podstawy scenariuszy powstawania tych stanów.

Ze względu na złożoność rozwiązań CNS, ich czułość i zależność od warunków początkowych oraz niedopasowania parametrów, badania takich układów są bardzo żmudne i pracochłonne. Stało się to główną motywacją do podjęcia tematu prezentowanego projektu. Proponuje się opracowanie nowych, efektywnych metod CSI (ang. Complex Systems – centric Indicators), pozwalających na badanie CNS, z naciskiem na proste i szybkie rozpoznanie dynamicznego stanu oscylatorów węzłowych sieci i ich zachowania. Jako podstawę opracowanego CSI proponuje się zastosować, wieloaspektową modyfikację bardzo prostej i efektywnej metody estymacji jednego z najczęściej stosowanych w badaniach wskaźnika stabilności rozwiązań układów dynamicznych, czyli wykładnika Lapunowa (ang. Lyapunov Exponent – LE), która pozwala na proste oraz o 15 – 35 % szybsze oszacowanie LE. Na podstawie estymacji całego widma LE, możliwe jest łatwiejsze niż przy użyciu powszechnie stosowanych metod, szacowanie wartości innych wskaźników, takich jak wymiar fraktalny, entropia Kołmogorowa-Sinaj'a czy dywergencja systemu. Wszystkie te wskaźniki mają kluczowe znaczenie w badaniach dynamiki układów złożonych. W projekcie proponuje się wprowadzenie kilku modyfikacji do metody LEVF i połączenie z innymi wskaźnikami, wykorzystując wszystkie ich zalety związane z analizą złożonych systemów. Główną zaletą tego podejścia jest to, że na odmianę od powszechnie stosowanych metod, zaproponowane podejście umożliwia szybkie rozpoznanie dynamicznego stanu oscylatorów węzłowych sieci i ich zachowania jeszcze przed tym, jak układ osiągnie stan końcowy na atraktorze. Ponieważ proponowane podejście opiera się na metodzie, która jest o 20% szybsza od powszechnie stosowanych metod, połączenie tych cech powinno dać najbardziej wydajne narzędzia, pozwalające na skanowanie dynamiki układów w szerokim zakresie ich parametrów. Badania będą prowadzone przy użyciu programów, które zostaną specjalnie opracowane, aby umożliwić rozwiązanie zadań realizowanych w projekcie.

Główne cele badań do realizacji w projekcie

- ✓ Zaprojektowanie wydajnych i uniwersalnych narzędzi do uproszczenia badań CNS,
- ✓ Zastosowanie opracowanych narzędzi w badaniach dynamiki różnych typów CNS, skupione na wyjaśnieniu ich elementarnych i złożonych właściwości, poszukiwaniu warunków koniecznych i wystarczających dla zaistnienia wzorców zachowań występujących w dynamice takich układów.

Oczekiwany efektem końcowym jest uzyskanie bardziej wyspecjalizowanych wskaźników i narzędzi, pozwalających na łatwiejsze i skuteczniejsze badanie dynamiki CNS. Techniki zaproponowane w projekcie są wieloaspektowe, ponieważ łączą różne metody badania układów dynamicznych, tworząc nowe podejścia, które będą miały wiele cech do zbadania. Dotyczy to również metod numerycznych i stosowanych algorytmów. Oczekuje się, że opracowane w projekcie metody badań CNS będą szybsze, prostsze i bardziej uniwersalne niż techniki powszechnie stosowane w analizie tego typu układów. Oczekuje się, że uzyskane metody będą bardziej przyjazne dla użytkownika, co może zachęcić innych naukowców do zainteresowania się problematyką CNS. Proponowane metody wprowadzają również nowe spojrzenie na dynamikę CNS, dzięki nowym typom stosowanych wskaźników. Oczekuje się zatem, że proponowane podejście nie tylko ułatwiłoby badania CNS, ale również mogłoby pomóc np. w analizie nierozwiązanych problemów, takich jak elementarne i złożone właściwości CNS oraz warunki konieczne i wystarczające dla pojawiania się w ich dynamice pewnych wzorców, czy mechanizmy ich powstawania. Przewiduje się również, że badania ujawnią interesujące odkrycia poboczne w dziedzinie dynamiki nieliniowej, które mogą przynieść korzyści projektowi, znaleźć zastosowanie w dalszych pracach naukowych i otworzyć nowe możliwości rozwoju.