

Efektywne kosztowo modelowanie układów wysokich częstotliwości przy użyciu metod uczenia głębokiego i redukcji wymiarowości

Rozwój współczesnych systemów wysokich częstotliwości jest zadaniem niezwykle wymagającym. Nowe obszary zastosowań (5G, IoT, RFID), nakładają rygorystyczne wymagania dotyczące wydajności, funkcjonalności (strojenie, praca wielozakresowa, itp.) oraz kompaktowych wymiarów. Aby im sprostać, struktury stają się coraz bardziej złożone, a ocena ich charakterystyk wymaga pełnofalowej analizy elektromagnetycznej (EM). Czynniki te sprawiają, że proces projektowania staje się skomplikowany i uzależniony od narzędzi EM oraz zaawansowanych algorytmów optymalizacji. Główną przeszkodą w projektowaniu wspomaganym analizą EM jest wysoki koszt obliczeniowy. W celu przezwyciężenia tego problemu opracowano szereg technik przyspieszających, z których znacząca część wykorzystuje metody modelowania zastępczego. Niestety, w większości praktycznych przypadków, zjawiska takie jak „przekleństwo wymiarowości” znacznie utrudniają konstrukcję niezawodnych modeli zastępczych. Pewnym rozwiązaniem są procedury uczenia maszynowego, których efektywność osiągana jest kosztem ograniczonej zdolności eksploracyjnej. Dostępne metody wspomagane modelowaniem zastępczym opierają się na konwencjonalnych technikach (metody regresyjne, sieci neuronowe typu feedforward), lub ich kombinacjach, a możliwości ich stosowania ograniczone są do stosunkowo prostych zagadnień.

Celem projektu jest opracowanie wydajnych i niezawodnych, gotowych do użycia w procesie projektowania metod modelowania zastępczego z wykorzystaniem głębokiego uczenia, redukcji wymiarowości, oraz cech odpowiedzi. Główne podejście opiera się na zastosowaniu rekurencyjnych sieci neuronowych (RNN) z jednostkami LSTM oraz GRU do dokładnego odwzorowania charakterystyk częstotliwościowych analizowanych struktur, traktując częstotliwość jako parametr sekwencyjny. Ograniczanie dziedziny, realizowane przez redukcję wymiarowości, pozwoli skupić proces na najbardziej istotnych obszarach przestrzeni parametrów, znacząco zwiększając efektywność kosztową bez utraty przydatności projektowej. Dodatkowe cele to opracowanie modeli odwrotnych umożliwiających szybką optymalizację globalną oraz wielokryterialną. Opracowane procedury zostaną zademonstrowane na przykładach rzeczywistych problemów projektowych. Metody te będą stanowiły istotny postęp w dziedzinie projektowania wspomaganego komputerowo systemów wysokoczęstotliwościowych oraz automatyzacji projektowania, eliminując ograniczenia obecnie stosowanych metod.

Projekt zawiera szereg innowacyjnych elementów, w tym:

- Opracowanie metod głębokiego uczenia dla modelowania zastępczego anten i komponentów mikrofalowych poprzez sekwencyjne przetwarzanie charakterystyk częstotliwościowych.
- Zastosowanie mechanizmu uwagi dla lepszej reprezentacji najistotniejszych fragmentów widma.
- Opracowanie technik redukcji wymiarowości z wykorzystaniem wstępnej selekcji i szybkiej globalnej analizy wrażliwości, zwiększających efektywność modelowania przy zachowaniu jego przydatności projektowej.
- Opracowanie metod odwrotnego modelowania z uwzględnieniem cech odpowiedzi oraz automatycznego określania dziedziny modelu w odniesieniu do parametrów operacyjnych systemu.
- Opracowanie procedury projektowania wspomaganego modelami zastępczymi i uczeniem maszynowym z wykorzystaniem niezawodnych i tanich metod modelowania z uczeniem głębokim.

Projekt ma na celu istotne rozszerzenie zarówno aktualnego stanu wiedzy, jak i praktyki inżynierskiej w obszarze projektowania wspomaganego komputerowo, automatyzacji projektowania, modelowania zastępczego oraz optymalizacji w systemach wysokich częstotliwości. Wprowadza szereg nowatorskich podejść koncepcyjnych, w tym zastosowanie rekurencyjnych sieci neuronowych z LSTM, GRU oraz mechanizmami uwagi do sekwencyjnego przetwarzania odpowiedzi systemu; redukcję wymiarowości i ograniczanie dziedziny modelowania przy zachowaniu jego użyteczności projektowej; modelowanie odwrotne; oraz reprezentację systemów poprzez parametry operacyjne zamiast zmiennych projektowych. Oczekuje się, że wysoka skuteczność opracowanych metod modelowania i automatyzacji projektowania, szczególnie w kontekście złożonych, rzeczywistych problemów, przyczyni się do ich szerokiego zastosowania w środowiskach badawczych i praktycznych. Opracowane algorytmy modelowania i optymalizacji wraz z ich implementacjami komputerowymi przeznaczone do zastosowań takich jak lokalne i globalne strojenie parametrów, projektowanie wielokryterialne oraz analiza niepewności, będą stanowić praktyczne i gotowe do użycia narzędzia dla naukowców oraz specjalistów z przemysłu. Ich integracja z wiodącymi komercyjnymi narzędziami CAD (np. CST Microwave Studio, Ansys HFSS, Keysight ADS/Momentum) dodatkowo zwiększy ich dostępność i użyteczność w rzeczywistych zastosowaniach. Wysoka wydajność opracowanych procedur modelowania i projektowania powinna przyciągnąć uwagę zarówno środowisk akademickich, jak i praktyków, zwłaszcza tam, gdzie rozwój zaawansowanych urządzeń musi być realizowany w warunkach ograniczeń czasowych i limitowanych zasobów obliczeniowych.

Wyniki badań zostaną również opublikowane w uznanych periodykach naukowych, a także zaprezentowane na międzynarodowych konferencjach z obszaru inżynierii mikrofalowej i antenowej. Opracowane techniki zostaną również przedstawione producentom oprogramowania (Dassault Systemes, Sonnet Software Ltd.) w celu pogłębienia współpracy z tymi podmiotami.