

Automatyzacja projektowania i optymalizacja układów wysokich częstotliwości za pomocą metod uczenia maszynowego

Współczesne urządzenia wysokich częstotliwości wykazują znaczny stopień skomplikowania, co jest konsekwencją nakładanych na ich parametry użytkowe wymagań generowanych przez nowoczesne obszary zastosowań (komunikacja bezprzewodowa, internet rzeczy, obrazowanie mikrofalowe, itd.). Wymagania dotyczące funkcjonalności to między innymi rekonfigurowalność, szerokie pasmo pracy, polaryzacja kołowa, praca wielopasmowa, a także miniaturyzacja. Spełnienie ich prowadzi do projektowania struktur geometrycznie złożonych, zawierających dodatkowe komponenty takie, jak zdegenerowane płaszczyzny podłoża, czy metamateriały. Powoduje to zwiększenie liczby parametrów podlegających dostrajaniu. Ponadto uzyskanie odpowiedniej dokładności wymaga ewaluacji systemów za pomocą pełnofalowych modeli elektromagnetycznych (EM). W rezultacie projektowanie układów wysokich częstotliwości jest zadaniem skomplikowanym. Tym niemniej, symulacje elektromagnetyczne to podstawowe narzędzie wykorzystywane na wszystkich etapach projektu (ewolucja topologii układu, badania parametryczne, końcowe dostrajanie parametrów). Coraz większą rolę odgrywają też metody optymalizacyjne, potrzebne w dostrajaniu lokalnym, globalnym, projektowaniu wielokryterialnym, a także analizie statystycznej. Wysoki koszt obliczeniowy symulacji EM generowany przez tego rodzaju procedury jest motywacją dla rozwoju metod przyspieszonych. Metody dostępne obecnie opierają się na modelowaniu surogatowym, a także technikach uczenia maszynowego, w których model surogatowy spełnia rolę szybkiego predyktora i jest iteracyjnie poprawiany wykorzystując wyniki symulacji EM zgromadzone w trakcie procesu optymalizacyjnego. Podstawowym problemem jest sama konstrukcja modelu surogatowego, utrudniona przez przekleństwo wymiarowości, nieliniowość odpowiedzi układów oraz duże rozmiary przestrzeni poszukiwań.

Celem projektu jest opracowanie efektywnych i niezawodnych procedur do projektowania układów wysokich częstotliwości wykorzystujących metody uczenia maszynowego, w tym opracowanie narzędzi pozwalających zarówno na rozszerzenie zakresów stosowalności tych metod, jak i obniżenie ich kosztów obliczeniowych. Kolejnym celem jest opracowanie procedur optymalizacji globalnej, wielokryterialnej oraz projektowania z uwzględnieniem tolerancji. Procedury te będą weryfikowane przy użyciu praktycznych układów antenowych oraz mikrofalowych. Opracowane techniki znacząco rozszerzą możliwości metod uczenia maszynowego oraz pozwolą na pokonanie problemów obecnych narzędzi, w szczególności tych związanych z konstrukcją dokładnych modeli surogatowych, eksploracji dużych przestrzeni poszukiwań oraz obniżenia kosztów operacyjnych. Realizacja powyższych celów znacząco przyczyni się do rozwoju stanu badań w dziedzinie automatyzacji projektowania systemów wysokich częstotliwości.

Projekt zawiera szereg wysoce innowacyjnych elementów, między innymi:

- Opracowanie procedur przesiewowych o zmniejszonym koszcie obliczeniowym w celu ułatwienia eksploracji przestrzeni poszukiwań. Efektywność będzie zapewniona przez wykorzystanie symulacji wielopoziomowych oraz przeformułowanie problemu projektowego w kategoriach parametrów operacyjnych systemu.
- Opracowanie procedur uczenia maszynowego do niskokosztowej optymalizacji globalnej wykorzystujących narzędzia regularyzacji, badania przesiewowe oraz ograniczenie wymiarowości.
- Poprawa efektywności algorytmów uczenia maszynowego przez wykorzystanie modelowania odwrotnego.
- Opracowanie metod uczenia maszynowego do poprawy działania algorytmów dostrajania lokalnego. Celem jest poprawa niezawodności oraz zmniejszenie kosztów obliczeniowych poprzez wykorzystanie dostępnych danych symulacyjnych oraz redukcja wpływu szumu numerycznego na działanie procesów optymalizacyjnych.
- Implementacja komputerowa opracowanych algorytmów, integrująca metody modelowania surogatowego oraz algorytmy optymalizacyjne w formie procedur umożliwiających automatyczne projektowanie praktycznych układów wysokich częstotliwości.
- Wykazanie praktycznej przydatności opracowanych metod poprzez zaprojektowanie układów dla konkretnych zastosowań (internet rzeczy, komunikacja 5G, wirtualna rzeczywistość).

Głównym rezultatem projektu będą nowe, niezawodne oraz efektywne obliczeniowo metodologie do automatycznego projektowania i optymalizacji układów wysokich częstotliwości wykorzystujące metody uczenia maszynowego. Spodziewane wyniki będą wykraczać poza to, co jest możliwe przy użyciu istniejących technik, a w związku z tym będą miały bezpośredni i znaczący wpływ na stan badań w zakresie projektowania systemów antenowych oraz mikrofalowych. Będą one również stanowiły istotny wkład w rozwój technik projektowania wspomaganego komputerem w innych dziedzinach, w których wykorzystuje się kosztowne modele symulacyjne (inżynieria mechaniczna, lotnicza, itd.).

Ponadto, wyniki projektu będą upublicznione w wiodących periodykach naukowych w dziedzinach związanych z inżynierią mikrofalową oraz antenową, a także w materiałach konferencji międzynarodowych. Techniki te będą również zaprezentowane producentom oprogramowania (Dassault Systemes, Sonnet Software Ltd.) w celu stymulacji dalszej współpracy z tymi podmiotami.