

Hybridní modelování digitálního dvojčete

1.12.2024 - | Fakulta strojní ČVUT v Praze

Technologie digitálního dvojčete může prakticky ovlivňovat každý průmyslový obor, proto se stále častěji využívá jak ve výzkumu, tak i přímo v průmyslu. Digitální dvojče je v podstatě virtuální reprezentace připojeného reálného zařízení. Propojením digitálních dvojčat se senzory Internetu věcí lze sledovat data v reálném čase. Plynulou výměnu a synchronizaci dat lze využívat pro sledování výkonu a stavu zařízení a předvídání změn jeho chování. Implementace digitálního dvojčete přináší provozovateli výrazné úspory. Umožňuje optimalizovat výkon zařízení, zkušebně analyzovat různé zátěžové stavy pro detekci možných problémů, navrhovat prediktivní údržbu a tím předcházet možným poruchám.

Téma digitálního dvojčete si vybral jako téma disertační práce na Fakultě strojní ČVUT v Praze Ing. Marek Ciklamini, doktorand Ústavu přístrojové a řídicí techniky. V práci nazvané „Hybridní modelování digitálního dvojčete mechanické struktury metodou konečných prvků a grafových neuronových sítí“, Digital Twin Model Hybridly by Finite Element Method and Graph Neural Networks (DTHMFG), navrhuje modelovací přístup pro návrh digitálního dvojčete Digital Twin (DT).

Jeho koncepce integrující propojení obou metod umožňuje přesně simulovat složité fyzikální strukturální chování rozšířené o možnost efektivní datové akvizice. Tato práce si klade za cíl přispět komplexně do této oblasti předložením dobře popsaneho a podporovaného nápadu pro DTHMFG. Prozkoumání hybridního modelování digitálních dvojčat pro mechanické struktury pomocí metod FE a regresorů založených na grafové neuronové síti Graph Neural Networks (GNN) nabízí cenné poznatky, metodiky a poznatky.

Hlavním cílem je proto hledání odpovědi na otázku, zdali závislá proměnná, regresor, grafových neuronových sítí může být efektivním nástrojem pro stavbu digitálního dvojčete. Na důkaz autor představuje studie, které slouží k návrhu přístupu pro řešení výzev souvisejících s vytvořením digitálního dvojčete. Následně pak s pomocí navržených experimentů testováním ověřuje možnost trénování (procesu učení) a ověřování regresoru tak, aby byla zajištěna přesnost a obecnost hybridního modelu jako ucelené mechanicko - digitální struktury. Důkladnou kontrolou natrénovaných regresorů je dosaženo hlubšího porozumění jejich výkonu a vlastností, což umožňuje informovaná rozhodnutí o jejich vhodnosti pro konkrétní aplikace. Tato inspekční fáze je klíčová při zdokonalování a optimalizaci modelů regresorů, což v konečném důsledku vede ke zlepšení přesnosti a spolehlivosti, zejména při predikci cílové proměnné, například maximálního hlavního napětí.

Při vyvažování výsledků autor hodnotí a řadí modelově orientovaný přístup používaný při budování a zakládání konkrétního DT. Primárním hodnotícím nástrojem použitým v této části je boxplot, heteroskedacita regresoru a v neposlední řadě ground truth, jakožto autentického zobrazení masky geometrické struktury pro kontrolu přesnosti výsledků strojového učení ve srovnání se skutečným světem, který vizuálně představuje distribuci a statistické charakteristiky klíčových metrik, které řídí vyspělost vývoje DT. Je pozoruhodné, že přímočařejší modelové rámce, jako je multilineární regrese (MLR) a dopředné neuronové sítě (FN), obecně předčily rámce GNN pro jednoduché mechanické struktury avšak pro složitější struktury tomu je naopak. Podrobného vyhodnocení výkonu modelu, včetně identifikace konkrétních slabin v různých scénářích zatížení mechanické struktury, lze dosáhnout pouze pomocí grafů chyb Skedacity proti skutečným hodnotám pro ověřovací datový soubor. Historie trénování každého rámce poskytuje cenné informace o předpokládané době dodání

pro specifikovaný regresor. Toto komplexní posouzení architektury bere v úvahu potenciální náklady na trénování u větších mechanických struktur nebo složitých fyzikálních domén, a to může být plodným nástrojem pro vyvážení alternativních metod.

Základ pro budoucí výzkum a praktické aplikace v datovém modelování mechanické struktury vždy poskytuje pečlivé zkoumání a experimentování. Navzdory výpočetní náročnosti nabízejí znalosti získané z těchto modelů významné výhody, zejména v přesném napodobování chování v reálném světě. Když jsou modely vytvořené s péčí a pozorností k detailu, slouží fyzické modely jako nepostradatelné nástroje pro pochopení a optimalizaci mechanických systémů. I když fyzické modely mohou být výpočetně nákladné, jejich pečlivý design poskytuje neocenitelné vhledy do složitých mechanických systémů.

Jedním z významných přínosů práce je, že poskytuje vhled do regresorů jako představitelů datově řízeného modelování pro provádění regresních úloh na uzlech grafu odrážejícího fyzikální model, využívající pečlivě vybraná data metodou konečných prvků (FEM) ke konstrukci trénovací datové sady. Autor také ověřoval hypotézy pomocí vhodných experimentů, aby se stanovila základní linie rámců, což usnadní výběr optimálně fungujících regresorů.

V závěru upřesňuje modelovou diagnostiku na základě celkového experimentu za účelem pochopení výkonnostního modelu v kontextu poskytování kompilovaného správného přeneseného chování konkrétního PM. To zvýrazňuje předpoklady falešných systémových předpovědí, a proto je sada monitorovacích metrik využívána jako zásadní pro DTFMG napodobování mechanického systému.

Modelovací přístup pro návrh digitálního dvojčete lze v praxi úspěšně využívat k online monitoringu všude tam, kde jsou velká namáhání i k přenosu dat do virtuální / rozšířené reality.

<https://www.fs.cvut.cz/aktuality/2784-212/hybridni-modelovani-digitalniho-dvojce>