

Abstract (EN)

This thesis investigates methods for the composition of small datasets aimed at leveraging ML algorithms for implicit modeling of biopolymer 3D printing for architecture. The research is contextualized against the need for an urgent shift in architecture's material practice facing the challenges of sustainability, and the inability of the current digital modeling paradigm to support this transition. This is because bio-based materials are fundamentally different to their industrial, standardized counterparts presenting complex, heterogeneous behaviours. Therefore, this thesis proposes to extend contemporary understandings of the Complex Model by integrating implicit ML-models within the larger non-predictive computational pipeline. This integration provides an alternative method for complex material system modeling. It leverages the potential for rapid and focused predictions that can be seamlessly incorporated into the design environment, thereby augmenting the model with functionalities that are unattainable through alternative modeling techniques.

The research operates at the intersection of the architectural field of computational design and fabrication, and the mathematical field of scientific modeling using ML algorithms. ML-workflow building is framed through a Research through Design lens, and is the central method taken up in this thesis. It is applied across experimental case-study work, which is characterized by iterative, feedback-based, multi-staged Test-Driven Development. The aim of the research is to understand the relationship between small datasets and ML models.

The novelty brought on by this thesis is the focus on data, dataset creation, and data flow integration, which are essential to the deployment of ML in our field. It points towards a change in tooling culture, where the focus becomes on the transfer and adaptation of existing algorithms, fed with specific data, rather than the development of the algorithms themselves. The research focuses on issues of data scarcity and implicit complexity, inherent to the nature of design and architecture. It demonstrates methods for small dataset curation and ML-workflow design which mitigate such application challenges.

The thesis is structured across two digital modeling experiments which test two opposing methods of designing small datasets. The two experiments are anchored within two case studies, which frame the material case and the functional motivation for the modeling experiment's target. The case studies address the critical modeling limitations which hinder the usage of bio-based material, namely: modeling the dynamic curing of the 3D printed biopolymer composites, as well as the characterization of graded 3D printed biopolymer composites. A large ensemble of methods is utilized across the case studies: methods of digital parametric design, digital fabrication and robotic control, 3D scanning, digital sensing, data structures and handling, data processing, graphical and numerical data analysis, model training and finally methods of visualization and user interaction.

The findings of the experimental work contribute to knowledge within three territories. 1) The thesis advances the current limits of architectural digital practice in modeling biomaterials, by producing a novel method for complex material modeling integrated within the computational design model. The method enables the navigation of a recipe space, through the simultaneous coupling of material composition and material properties. 2) The thesis extends the current understandings of architectural Machine Learning in terms of datasets and algorithms by developing methods for custom dataset creation. The method enables to sample complex design spaces, and through numerical encoding, transform design-driven physical demonstrators into machine learnable datasets. 3) The thesis expands the methodology of Research through Design (RtD), and the framework of Probe-Prototype-Demonstrator to the act of ML-workflow building itself.



Royal
Danish
Academy

Architecture
Design
Conservation

Abstrakt (DK)

Denne ph.d.-afhandling undersøger metoder til sammensætning af små datasæt med det formål at udnytte ML-algoritmer til implicit modellering af 3D-print af biopolymerer til arkitektur. Forskningen kontekstualiseres mod behovet for en presserende ændring i arkitekturens materialepraksis i lyset af bæredygtighedsudfordringerne, hvor den nuværende digitale modelleringsparadigmes manglende evne til at understøtte denne overgang. Dette skyldes, at biobaserede materialer fundamentalt adskiller sig fra deres industrielle, standardiserede modstykker ved at præsentere komplekse, heterogene adfærd. Derfor foreslår denne afhandling at udvide den nutidige forståelse af den komplekse model ved at integrere implicite ML-modeller i det større ikke-prædiktive beregningsmæssige forløb. Denne integration tilbyder en alternativ metode til modellering af komplekse materialesystemer. Den udnytter potentialet for hurtige og fokuserede forudsigelser, der kan integreres problemfrit i designmiljøet, hvorved modellen beriges med funktioner, der er uopnåelige gennem alternative modelleringsteknikker.

Forskningen opererer i skæringspunktet mellem det arkitektoniske område for computational design og fabrikation samt det matematiske område for videnskabelig modellering ved hjælp af ML-algoritmer. Opbygning af ML-arbejdsgange er indrammet gennem den metodiske ramme – 'Research through Design', som er den centrale metode der anvendes i denne afhandling. Den anvendes på tværs af eksperimentelt casestudiearbejde, som er karakteriseret ved iterativ, feedback-baseret, og testdrevet udvikling. Målet med forskningen er at forstå forholdet mellem små datasæt og ML-modeller. Nyheden, som denne afhandling bringer, er fokus på data, datasætskabelse og integration af data flow, hvilket er afgørende for implementeringen af ML i vores felt. Det peger mod en ændring i værktøjskulturen, hvor fokus bliver på overførsel og tilpasning af eksisterende algoritmer, fodret med specifikke data, snarere end udviklingen af selve algoritmerne. Forskningen fokuserer på problemer med data mangel og implicit kompleksitet, som er iboende for design- og arkitektur praksis. Den demonstrerer metoder til kuratering af små datasæt og design af ML-arbejdsgange, som afhjælper sådanne anvendelsesudfordringer.

Afhandlingen er struktureret på tværs af to digitale modelleringsforsøg, som tester to modsatrettede metoder til design af mindre datasæt. Eksperimenterne er forankret i to casestudier, som indrammer modelleringsforsøgenes materielle og funktionelle motivation. Casestudierne adresserer de kritiske modelleringsbegrænsninger, der hindrer brugen af biobaserede materialer, nemlig: modellering af den dynamiske hærkning af 3D-printede biopolymerkompositter samt karakterisering af graduerede 3D-printede biopolymerkompositter. Et stort ensemble af metoder anvendes på tværs af casestudierne: metoder til digitalt parametrisk design, digital fabrikation og robotkontrol, 3D-scanning, digital sensing, datastrukturer og -håndtering, databehandling, grafisk og numerisk dataanalyse, modeltræning og endelig metoder til visualisering og brugerinteraktion.

Fundene fra det eksperimentelle arbejde bidrager til viden inden for tre områder. 1) Afhandlingen fremmer de nuværende grænser for arkitektonisk digital praksis i modellering af biomaterialer ved at producere en ny metode til kompleks materialemodellering som integreres i en computational designmodel. Metoden gør det muligt at navigere i et 'opskriftsrum' gennem den simultane kobling af materialesammensætning og materialeegenskaber. 2) Afhandlingen udvider de nuværende forståelser for brugen af Machine Learning indenfor arkitektur, særligt indenfor datasæt og algoritmer der kan skabe brugerdefinerede datasæt. Metoden gør det muligt at prøve komplekse 'designrum' og gennem numerisk kodning kan fysiske demonstratorer omdannes til datasæt, der kan anvendes i ML systemer. 3) Afhandlingen udvider metoden Research Through Design (RtD) og rammen for Probe-Prototype-Demonstrator til selve handlingen med opbygning af ML-arbejdsgange.



Royal
Danish
Academy

Architecture
Design
Conservation