

Výzkumná zpráva: Nástroj pro syntézu dat

MPO FV 10202: Databáze materiálových mikrostruktur pro aditivní výrobu

Vypracoval: M. Doškář, V. Šána, M. Kočová, M. Žatečka, J. Petrš

Poslední editace: 09/2020

Obsah

Stručná charakteristika úkolu	1
Stručný popis zvoleného řešení.....	1
Teoretické řešení	1
Implementace.....	1
Vstupy a výstupy.....	2
Testování nástroje	3
Závěr	3
Literatura	4

Stručná charakteristika úkolu

Cílem úkolu bylo vytvořit efektivní postup pro syntézu generických materiálových mikrostruktur ze zadané komprimované reprezentace ve formě souboru modulů a vytvořit nástroj, který v požadované formě výstupu vrátí mikrostrukturální realizaci o uživatelem definované velikosti. Nástroj by měl umět zpracovat vstupní data

- (i) v grafickém formátu, tj. pixelové/voxelové reprezentaci,
- (ii) ve formátu materiálových indexů na pravidelné síti
- (iii) obsahující konečněprvkovou diskretizaci.

Formát výstupu by pak měl odpovídat vstupním datům. Nástroj by měl dále umožnit export syntetizovaných dat ve formě vhodné pro aditivní výrobu, tj. především ve formátu STL.

Stručný popis zvoleného řešení

Teoretické řešení

Z technického hlediska staví nástroje pro syntézu dat na zobecnění známých nástrojů pro periodické (PUC) reprezentace materiálové mikrostruktury (Zeman and Šejnoha, 2007). Informace o materiálové mikrostruktuře je narozdíl od jediné PUC uložena v souboru několika modulů tvaru rovnoběžnostěnu (ve většině případů čtverce ve 2D a krychle ve 3D) s předem definovanou kompatibilitou na hranách (Novák et al., 2012). Požadavek kompatibility jednotlivých modulů na hranách (2D) či stěnách (3D) je brán v úvahu již při jejich tvorbě, což usnadňuje jejich následné skládání do větších celků (Doškář et al., 2018).

Oproti PUC přináší reprezentace pomocí souboru modulů následující výhody:

- zrekonstruované, tj. vyskládané, realizace materiálové mikrostruktury vykazují menší periodické artefakty a lépe tak modelují běžně se vyskytující materiály
- umožňují vytvářet stochastické realizace a studovat tak odezvu systému v závislosti na vlivu náhodnosti v materiálové mikrostruktuře
- v případě optimalizovaných modulů a dláždících plánů zajišťuje tato reprezentace výrobitelnost a využívá výhod spojených s modulární výrobou

Pro tvorbu dláždícího plánu je plně dostačující pouze formální popis souboru modulů, tj. jejich počet a definice jednotlivých kódů na jejich hranách, resp. stěnách. Dláždící plán je následně tvořen sekvenčně: řádek po řádku v pravidelném rastru o uživatelem zadané velikosti. Indexy jednotlivých modulů jsou v každém kroku vybírány na základě již doplněných indexů v okolí pozice, na které se algoritmus právě nachází. Konkrétní modul je vybrán z podmnožiny potenciálních modulů kompatibilních s dříve umístěnými moduly. Výběr z této podmnožiny může být pak plně náhodný nebo mohou být preferovány moduly dle dodatečné informace. Jedním z příkladů může být výběr dlaždic na základě podobnosti jejich objemového zastoupení s místem v referenčním (podkladovém) obrázku.

Na základě dláždícího plánu a dodaných vstupních dat o geometrii a rozložení materiálů v rámci jednotlivých modulů (v jednom z níže uvedených formátů) je pak vytvořena realizace materiálové mikrostruktury syntézou těchto informací.

Implementace

Nástroj zajišťuje hlavní funkcionalitu platformy: z komprimované reprezentace materiálové mikrostruktury vytváří realizace vyžádané velikosti (náhodné či dle zadaného plánu). Nástroj umožňuje dva režimy:

1. Syntézu komprimovaných dat (buď pro nově generované či poskytnuté dláždění)
2. Konverzi komprimovaných dat

Nástroj pracuje s několika úrovněmi vstupních a výstupních dat:

0. Dláždicí plán – Tato volba slouží pouze jako indikátor ve vstupních parametrech `inputType` a `outputType` pro mód nástroje, který pouze generuje dláždicí plán.
1. Obrazová data – Tento vstup umožňuje pouze 2D data ve formátu BMP nebo PNG
2. Indexy materiálových fází na pravidelné mřížce
3. Konečněprvková síť ve formátu Verbose JSON
4. Konečněprvková síť ve formátu Base64 JSON
5. Konečněprvková síť ve formátu VTK legacy
6. Konečněprvková síť ve formátu VTK XML base64
7. Konečněprvková diskretizace povrchu ve formátu Base64 JSON – Pouze výstupní formát cílený na urychlení zobrazování vytvořené geometrie
8. Povrchová reprezentace ve formátu STL – Pouze výstupní formát vhodný pro výrobu jednotlivých modulů či generovaných a vyskládaných geometrií např. pomocí 3D tisku

Popis formátů (vyjma standardních jako např. BMP, PNG, VTK či STL) je součástí Výzkumné zprávy – Návrh architektury platformy a definice formátů.

Nástroj pro syntézu či konverzi komprimovaných dat je napsán v jazyce C++ dle poslední revize standardu ISO/IEC 14882:2017 jako konzolová aplikace. Grafické rozhraní pro tento nástroj je poskytnuto v rámci webového rozhraní platformy. Nástroj je psán s využitím paradigmatu objektově orientovaného programování (OOP); kromě standardního využití zapouzdření a jasně specifikovaných práv a působností je v rámci OOP s výhodou využito polymorfismu pro syntézu konečněprvkových sítí obsahujících libovolné typy konečných prvků.

Vstupy a výstupy

Vstupním parametrem konzolového nástroje je cesta k JSON souboru obsahujícímu parametry nástroje (základní hodnoty u volitelných parametrů jsou uvedeny v hranatých závorkách):

Povinné vstupy

`mode`..... Celočíselný kód módu nástroje (syntéza = 0, konverze = 1)

`inputType`..... Celočíselný kód typu vstupních dat (index ze seznamu uvedeného výše)

`outputType`..... Celočíselný kód typu výstupních dat (index ze seznamu uvedeného výše)

`inputFolder` Cesta (absolutní/relativní) k adresáři se vstupními daty

`tilesetFile` Cesta (vč. jména) k definici setu dlaždic (relativně k `inputFolder` adresáři)

Volitelné/podmíněně povinné vstupy

`tilingSize` Dvou nebo tříprvkové pole obsahující požadovanou velikost dláždění

`existingTiling`..... Cesta (vč. jména) k souboru obsahujícímu již existující dláždicí plán

`conversionMap`..... Pole obsahující hranice ve světlosti pixelu/voxelu, rozdělující jednotlivé fáze
(vyžadováno v případě $1 = \text{inputType} < \text{outputType}$)

`tileStencil` Název datových souborů pro jednotlivé dlaždice (pouze první společná část, která je následována podtržítkem, ID dlaždice a příponou dle typu)

`outputFile` Název výstupního souboru

`outputFolder` Cesta (absolutní/relativní) k adresáři s výstupními daty
`voxelSize` Dvou nebo tříprvkové pole udávající absolutní velikost pixelu/voxelu
`referenceImage` Cesta k referenčnímu obrázku (využití pouze pro 2D a `inputType` = 1)
`outputMeshFile` Název výstupního konečněprvkového souboru [„1.mesh.json“]
`outputMeshAttributeFile` .. Název pomocného výstupního konečněprvkového souboru [„1.attribute.json“]

Testování nástroje

Implementace a funkcionality nástroje byla testována ve dvou krocích odpovídajících jednotlivým typům činnosti nástroje.

Prvně bylo testováno generování validních dláždících plánů, tj. bez vynechaných míst a s kompatibilními kódy na odpovídajících si hranách. Testování bylo automatizováno pomocí skriptu, který pro sadu definic jednotlivých souborů modulů vytvořil 1000 stochastických dláždících plánů o velikostech 100x100, resp. 100x100x100 pro třírozměrné moduly a tyto dláždící plány validoval. V průběhu testování nebyl nahlášen chybný dláždící plán. Dále byla vizuálně testována tvorba dláždícího plánu na základě dodatečné informace poskytnuté ve formě referenčního obrázku.

V druhém kroku byla testována správnost syntetizovaných reprezentací pro různé vstupní formáty. Syntéza dat byla prvně kontrolována vizuálně na přítomnost artefaktů vzniklých špatnou syntézou. Syntéza konečněprvkových diskretizací obsahuje kontrolní mechanismy, které by měly identifikovat špatná vstupní data. U všech syntéz byl následně vytvořen konečněprvkový model a byla spuštěna homogenizační úloha skalárního problému pro případnou identifikaci špatné syntézy, která by vedla na špatnou podmíněnost úlohy. Testování probíhalo na 10 komprimovaných reprezentacích dostupných na <https://geosup.azurewebsites.net/> k 30. 9. 2018.

Vývoj nástroje probíhá za pomoci distribuovaného systému pro správu verzí git. Po každé dílčí změně kódu dochází ke spuštění integračních testů, které automaticky kontrolují, zda nebyla porušena funkčnost rozhraní, na kterém staví zbývající části vyvíjené platformy.

Při konstrukci testovacích úloh byl zohledněn náhodný charakter dláždícího algoritmu, a tedy komplikovanost kontroly jednotlivých chodů se stejnými vstupy, které produkují “pouze” statisticky ekvivalentní, nicméně ne totožné, výstupy. Bylo testováno 10000 náhodných realizací map dláždění o různých velikostech (1x1, 2x2, ... 10000x10000) a automaticky kontrolována jejich “validita” a kompatibilita (shoda) kódů hran sousedních dlaždic. Tento test proběhl bez jediné chybné realizace.

Závěr

Navržené a implementované řešení splnilo zadání úkolu. Funkčnost nástroje byla testována na několika úrovních. Nástroj vytváří očekávané výstupy v zadaných formátech a je schopen propojení s ostatními součástmi GEOSUP platformy. Nástroj je možné provozovat též samostatně. Grafické rozhraní pro nástroj je dodáno v rámci webového rozhraní platformy. Popis tohoto rozhraní je uveden v manuálu tohoto nástroje.

Literatura

- Doškář, M., Zeman, J., Jarušková, D., Novák, J., 2018. Wang tiling aided statistical determination of the Representative Volume Element size of random heterogeneous materials. *European Journal of Mechanics - A/Solids* 70, 280–295.
<https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2017.12.002>
- Novák, J., Kučerová, A., Zeman, J., 2012. Compressing random microstructures via stochastic Wang tilings. *Physical Review E* 86, 040104(R). <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.86.040104>
- Zeman, J., Šejnoha, M., 2007. From random microstructures to representative volume elements. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering* 15, S325–S335.
<https://doi.org/10.1088/0965-0393/15/4/S01>