

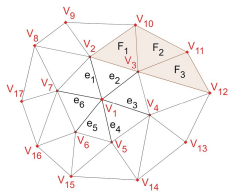
ANALÝZA OBEČNÝCH TVAROVÝCH PLOCH REALIZOVANÝCH POLYGONÁLNÍ SÍTÍ

Mgr. Nikola Pajerová

školicelka: doc. Ing. Ivana Linkeová, Ph.D.

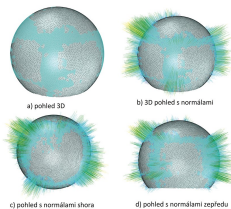
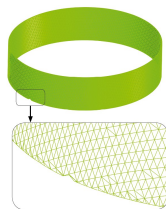
studijní obor: Matematické a fyzikální inženýrství

Ústav technické matematiky FS ČVUT



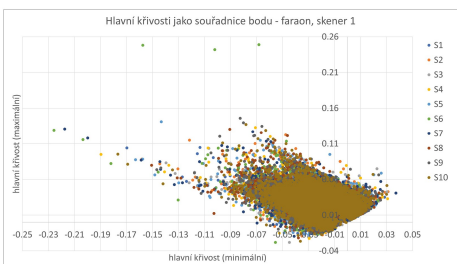
Ukázka trojúhelníkové sítě s vrcholy V_1, V_2, \dots , hranami e_1, e_2, \dots a stěnami F_1, F_2, \dots

Typy vrcholů na modelu zajíčka s přesností 10^{-2}

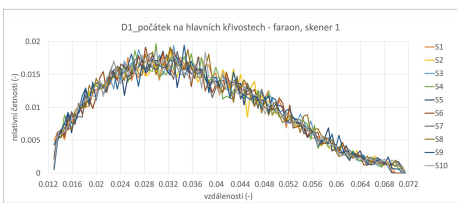


Trojúhelníková síť části koncové měřky a její detail

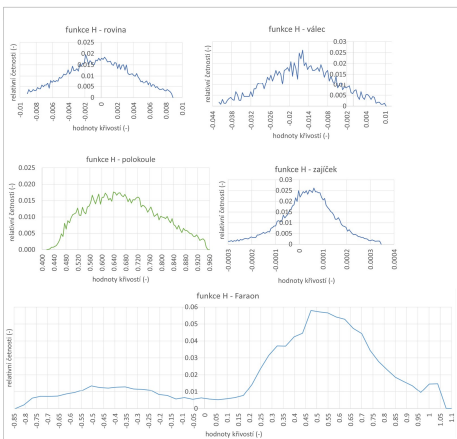
Porovnání odchylek jedné trojúhelníkové sítě získané ze skeneru typu CMM (světle modrá) od koule s kalibrováním poměrně reprezentovanou (tmavou sítí)



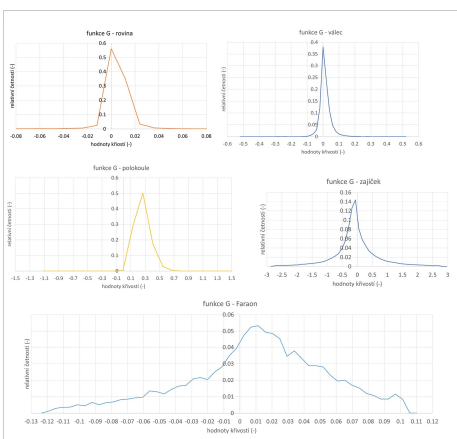
Zobrazení hlavních křivostí vrcholů trojúhelníkové sítě faraona



Tvarové rozdělení výsledků tvarové funkce D_1 aplikované na hlavních křivostech z předchozího obrázku



Porovnání tvarových rozdělení diskretní střední křivosti různých objektů



Porovnání tvarových rozdělení diskretní Gaussovy křivosti trojúhelníkových sítí různých objektů

MOTIVACE:

V současné době se čím dál více využívají technologie skenování a počítačového zpracování, ať už jde o detekci obličejů v mobilních telefonech, zpracování obrazu pro autonomní řízení, či 3D skenování objektů a jejich analýza či tvorba modelu například pro 3D tisk. Nejběžnější reprezentací dat získaných optickým 3D skenováním objektu je trojúhelníková síť, která může být reprezentována například ve formátu STL. Tento formát má výhodu v tom, že obsahuje vrcholy náležející dané stěně síte, ale také její vektor vnější normály.

Metody pro analýzu či porovnání tvarů jsou vyvinuty pro hladké plochy a body na nich generované. Tyto metody využívají například tvarové funkce, tvarové rozdělení či Minkovského L_1 normu. Tvarové funkce jsou však založeny pouze na měření základních metrických charakteristik, jako je vzdálenost, obsah či úhel, tedy nedokážou popsat povrch objektu. Proto v této práci byly využity jak již zavedené tvarové funkce a jejich modifikace, tak i diskretní křivosti. Tvarové rozdělení geometricky reprezentuje zastoupení jednotlivých výstupních hodnot tvarových funkcí a Minkovského L_1 norma dokáže potom určit míru podobnosti těchto tvarových rozdělení.

Abyste bylo možné verifikovat tyto postupy, lze využít modifikaci metrologické metody MSA (analýza systému měření), respektive její část o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Tato metoda byla upravena tak, aby ověřila například kompetentnost tvarových funkcí porovnávat trojúhelníkové sítě získané optickým skenováním jednoho objektu jedním skenerem vícekrát.

CÍLE:

Cílem této práce je nalezení metody pro analýzu geometrických vlastností polygonálních sítí a metody pro analýzu vzájemné podobnosti těchto sítí. S nalezenými metodami také souvisí další cíl, kterým je výběr vhodné verifikační metody, která by potvrdila funkčnost dané metody pro analýzu geometrie sítí. Závěrečný cíl je potom aplikace vybraných metod na vhodně zvolených plochách a ověření platnosti metody pro tyto plochy.

VÝSLEDKY PRÁCE:

Jako základní geometrické objekty pro porovnání tvarů a podobnosti sítí byly vybrány kalibrační artefakty: ball-bar, kalibrační koule, kroužek a koncová měřka. Jako obecné tvarové plochy byly zvoleny ČVUT etalon obecného tvaru Faraon a Stanfordský zajíček. Optickým skenováním těchto objektů se získaly trojúhelníkové sítě ve formátu STL.

Trojúhelníkové sítě ball-baru byly upraveny, zarovnaný a následně zpracovány modifikovanými tvarovými funkcemi D_{1a} a D_{2a} (vzhledem ke způsobu zarovnání sítí byly zvoleny tyto modifikace). Výsledky norem byly porovnány metodou MSA, jejíž regulační diagram ukázal kompetentnost obou funkcí k porovnání sítí.

Dále byly využity části ball-baru, kroužku a koncové měřky (pojmenované polokoule, váleček a rovina). Sítě byly zpracovány tvarovými funkcemi D_2, D_3 a G (ačkoliv byly sítě opět zarovnaný, nebyly již vybrány modifikované funkce). Výsledný regulační diagram ukázal, že všechny tvarové funkce jsou vhodné k porovnávání podobnosti sítí a to včetně nové funkce G . Navíc funkce G měla hodnoty celkové nejlépe centrální přímce, což znamená, že je nejlepší pro zpracování zvolených dat.

Kalibrační koule byla skenována třemi různými typy optických skenerů (CMM, měřicí rameno a ruční skener) a na získané trojúhelníkové sítě byly aplikovány tvarové funkce odchylky od kalibrovaného poloměru, D_1 , nová funkce h (výška aproximálního kuželu) a diskretní střední křivost H . Následně byla využita metoda MSA, která ukázala, že všechny vybrané funkce lze využít k porovnání přesnosti skenerů.

Také byly porovnány různé tvary mezi sebou – polokoule, váleček, rovina, Faraon a Stanfordský zajíček. Zde byla využita diskretní Gaussova a střední křivost. Tyto funkce prokazatelně rozlišily jednotlivé tvary objektů. Diskretní Gaussova i střední křivost byly také zkombinovány do hlavních křivostí, které byly využity na trojúhelníkových sítích kalibrační koule a Faraona. Pomocí sumy Minkovského L_1 norem z tvarové funkce D_1 aplikované na hlavní křivosti jako souřadnice bodů bylo možné určit pořadí skenerů, které odpovídalo stejnému pořadí určeném z jejich specifikací.

ZÁVĚRY A BUDOUCÍ PRÁCE:

Z výsledků byl patrný rozdíl mezi tvary objektů stejně jako podobnost trojúhelníkových sítí, které byly získány skenováním shodného objektu. Metody byly aplikovány jak na základních geometrických objektech reprezentovaných koulemi, válci a rovinou, tak i na obecných tvarových plochách zastoupených Faraonem či Stanfordským zajíčkem. Ukázalo se, že vybrané tvarové funkce lze využít k porovnávání sítí mezi sebou. Nově vytvořené funkce dokázaly určit stejné pořadí skenerů, jako běžná metrologická metoda využívající odchylky od kalibrované hodnoty (a jako bylo stanoveno specifikacemi) a to aplikací na trojúhelníkové sítě kalibrační koule a Faraona. Tato nová metoda se však nemusí omezovat pouze na určování podobnosti skenerů či trojúhelníkových sítí, ale lze ji také využít k analýze povrchu plošky na pánevní kosti. Stejně tak ji lze využít i při rozvíjení sítě do roviny či analýze archeologických stěpů.

PUBLIKACE SOUVISEJÍCÍ S TÉMATEM:

Pajerová, N.; Linkeová, I.: **Applications of shape distributions to compare triangular meshes**, In: Proceedings of 17th Conference on Applied Mathematics - Aplimat 2018. Bratislava: Slovak University of Technology, 2018

Pajerová, N.; Linkeová, I.: **Shape distribution approach to measure similarity of triangular meshes**, G - Slovenský časopis pre geometriu a grafiku, 2018

Pajerová, N.; Linkeová, I.: **Similarity of Triangular Meshes Measurement**, In: 18th Conference on Applied Mathematics APLIMAT 2019 PROCEEDINGS. Bratislava: Slovak University of Technology, 2019

Pajerová, N.; Linkeová, I.: **Triangular mesh analysis with application on hip bone**, In: PANM 20 Programs and Algorithms of Numerical Mathematics. Praha: Matematický ústav AV ČR, v. i., 2021

Pajerová, N.: **Comparison of Triangular Meshes Using Shape Functions and MSA**, In: Proceedings of the 13th International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPar 2021). Basel: Springer Nature Switzerland AG, 2022

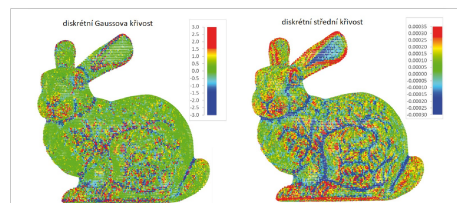
Macek, K.; Pajerová, N.; Čapek, N.: **Probability Distribution as an Input to Machine Learning Tasks**, In: Proceedings of the 25th International Conference on Enterprise Information Systems. Setúbal: SciTEPress, 2023



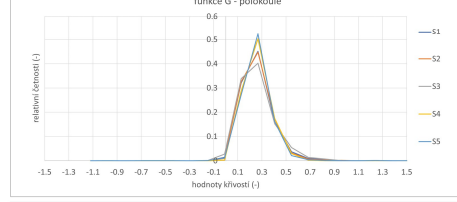
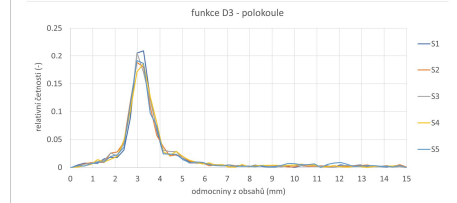
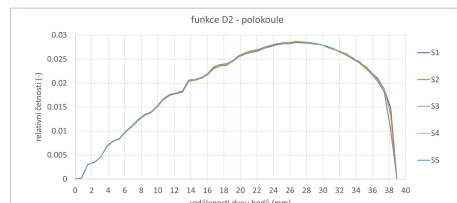
Trojúhelníková síť získaná optickým skenováním modelu Faraona



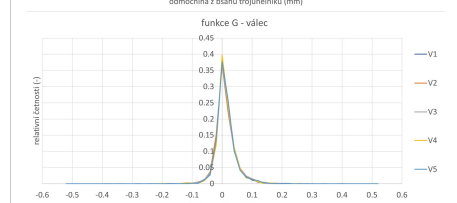
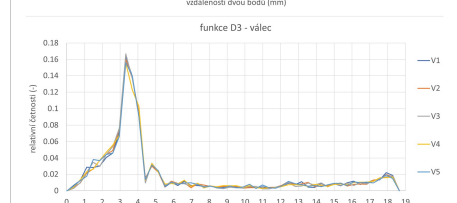
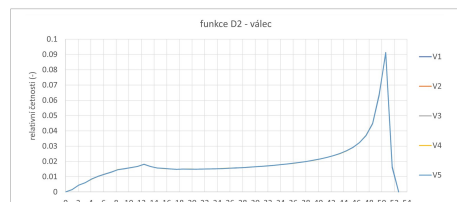
Trojúhelníkové sítě symfýzy 45 a 20 let staré ženy



Analýza diskretní Gaussovy a střední křivosti na trojúhelníkové síti modelu Stanfordského zajíčka



Tvarové rozdělení tvarových funkcí D_2, D_3 a diskretní Gaussovy křivosti na trojúhelníkových sítích polokoule



Tvarové rozdělení tvarových funkcí D_2, D_3 a diskretní Gaussovy křivosti na trojúhelníkových sítích válce