

Posudek oponenta bakalářské práce

Autor/autorka práce: **David Šavel**

Název práce: **Vytvoření generického kosterního modelu dolních končetin**

Obsah práce:

Pan David Šavel se ve své bakalářské práci zabývá generováním generického (zobecněného) kosterního modelu dolních končetin, který vznikne sloučením několika sad modelů kostí od různých „pacientů“. Práci lze tudíž pomyslně rozdělit na dvě části. Zaprvé je potřeba na základě několika modelů stejného typu kosti vygenerovat jeden zobecněný model. V druhé části je pak potřeba tyto zobecněné modely sestavit dohromady tak, jak tomu je v lidském těle, tj. zjednodušeně řečeno spojit obecné modely kostí pomocí kloubů. Jedná se o další rozšíření projektu Muscle Wrapping 2.0, který je vyvíjen na Fakultě aplikovaných věd.

Celá práce je členěna do 8 kapitol. Celkově by text práce zasloužil rozsáhlou revizi. Text není dostatečně logicky členěn, čtenář nemá šanci najít ucelenou informaci o použitých postupech/procesech na jednom místě. Vybraný postup/proces je vždy poněkud vágně popsán v kapitole, kterou mu autor věnoval, ale tento popis vyvolává spoustu otázek a nejasností. Některé z nich jsou zodpovězeny později, kdy už by čtenář ani nečekal, že se odpověď dozví. Aby k tomu mohlo dojít, tak je v některých případech (např. kapitola 6.1.1) znovu zopakováno to, co již bylo popsáno dříve. Kromě toho, že čtenář nemá šanci získat ucelený přehled o popisovaných postupech na jednom místě, tak se jejich funkcionalita v textu průběžně mění, a tudíž se nedá ani jednoduše vyvodit, jak přesně finální řešení funguje. Odevzdaný text bych si troufla nazvat jakýmsi logem, který sleduje postup úprav funkcionality navrženého nástroje na základě dodatečných zjištění. Přestože se jedná o práci, která je v nemalé míře matematicky zaměřena, tak se v celém textu vyskytuje jediný vzorec (výpočet barycentrických souřadnic). Všechny ostatní potřebné matematické vztahy popisuje autor práce pouze slovně a navíc často značně neobratně.

Druhá kapitola se zabývá analýzou nástroje STAPLE (druhý bod zadání), bohužel se jedná o velice povrchní analýzu uvedeného nástroje, takže se čtenář o jeho funkcionalitě mnoho nedozví. Celý popis je poněkud obširný, použité pojmy jsou vysvětleny buď nedostatečně, nebo vůbec, u většiny definic se dozvíme, že je to „nějaké“, např.:

- „*BL (BodyLandmarks) jsou pro každý model nějaké specifické body na kosti.*“
- „*BCS (Body Coordinate Systems) je struktura, která obsahuje nějaké geometrické informace o modelu kosti.*“

Vůbec se pak nedozvíme co přesně je rodič (či předek) a potomek kloubu, přestože je v této kapitole uvedeno tvrzení: „*Aby výsledný model mohl správně simulovat pohyb člověka, je třeba správně určit pro každý kloub rodičovské klouby a potomky.*“

Další kapitola analyzuje existující implementaci metody přímého multi-morphingu (třetí bod zadání). I tato analýza je značně povrchní, takže čtenář se raději uchýlí k nastudování metody v práci původního autora, aby pochopil její funkcionalitu. Přestože se jedná o multi-morphing, celý postup je popsán pouze pro zpracování dvojice kostí bez uvedení příslušného zobecnění pro více kostí. Kromě toho kapitola obsahuje několik **faktických chyb** a **zavádějících tvrzení**:

- Autor popisuje rigidní a nerigidní metody (str. 11), fakticky však existují buď rigidní/nerigidní transformace nebo rigidní/nerigidní registrace. Kromě nepřesného názvosloví, nejsou korektní ani samotné definice těchto pojmů.
- U popisu morphingu, mi není zřejmé, co autor zamýšlel sdělením (str. 11): „*Pokud bychom parametry nastavili u jednoho modelu na maximum a u druhého na minimum, jednalo by se o registraci.*“

- Stejně tak není korektní definice manifoldní trojúhelníkové sítě, protože pro vrchol sítě určitě není dostačující, že je sdílen nejméně dvěma trojúhelníky, ale musí být obsažen pouze v jednom fan of triangles.

Ve čtvrté kapitole věnované datovým sadám, autor na začátku uvádí, že aby si mohl soubory prohlédnout, bylo potřeba naimplementovat vlastní řešení (které není úplně přímočaré) pro převod binárních souborů MAT (reprezentujících datové sady v knihovně STAPLE) do formátu OBJ, což bylo zbytečné a dostatečnou analýzou knihovny STAPLE by autor zjistil, že knihovna obsahuje skript *writeOBJfile*, který převod umožňuje. Od této kapitoly také začíná být využíván výraz „*model kosti*“, a to v různých významech (někdy je tak označena doopravdy jen jedna kost, jindy je tím myšlena celá sada kostí), což opět dost stěžuje pochopení textu.

Zbytek textu se pak věnuje vlastní práci autora. Kapitola 5 je věnována návrhu nástroje pro automatizované sloučení modelů, v další kapitole je diskutována implementace a nakonec práce obsahuje kapitolu věnovanou testování a závěr. I tyto kapitoly trpí problémem s nedostatkem informací (např. jak byly nastaveny počáteční podmínky, zdůvodnění zvolených kroků, jaké datové sady byly vstupem pro experiment, atd.)

V šesté kapitole je popisováno „*slučování kosterních modelů*“ a „*slučování několika modelů*“, přestože by se mohlo zdát, že to znamená totéž, z textu je patrné, že se jedná o významově naprosto odlišné věci. Kapitola 6.2 je pro nezasvěceného čtenáře prakticky zabijákem, pokud se byl čtenář schopen až do teď alespoň nějak držet myšlenkového pochodu autora, tak tady už se v popisu definitivně ztratí.

Formální úroveň:

Práce obsahuje větší množství pravopisných chyb (shoda podmětu s přísudkem, chybějící interpunkční znaménka atd.) a překlepů. Pravopisné chyby jsou až tak závažného rázu, že mohou **způsobit mystifikaci čtenáře**. Stavba většího množství vět není zcela korektní, ve větě jsou například dvě předložky, je v ní použito špatné skloňování, **nehodné či neobratné formulace** atd. Níže uvádím pár příkladů, které trpí výše uvedenými neduhy:

- „*Před prvním krokem má algoritmus kosti reprezentované trojúhelníkovými sítěmi.*“ (str. 11)
- „*K síti mohou stále být připojeny komponenty, které se síti však nesdílejí žádnou hranu, ale sdílejí pouze vrchol.*“ (str. 11)
- „*odizolované komponenty*“ (str. 12)
- „*Jsou zde modely kostí pouze pravé dolní končetiny bez prstů a pánve, avšak bez křížové kosti.*“ (str. 16)
- „*v poslední datové sadě je pánevní kost*“ (str. 20), ve skutečnosti jsou tam všechny kosti pánve
- „*Poté co se lehce změní poloha jejich vrcholů bude moct být tato cílová kost považována za výsledek sloučení.*“ (str. 21)

Zkratky nejsou vysvětleny při jejich prvním výskytu ale až později v textu. Při odkazování se na dříve uvedenou problematiku je většinou jen neurčitě konstatováno, že je to popsáno „*v jedné z předchozích kapitol*“, místo aby byl uveden odkaz přímo na příslušnou kapitolu.

Kvalita některých obrázků v práci vložených je nedostatečná (nízké rozlišení). Obrázek 5.2 je vytvořen jako screenshot textového dokumentu. Některé obrázky jsou nedostatečně popsány (je u obrázku 6.3 znázorněno prosté průměrování bodů nebo je zde zahrnut i výběr nejbližšího „*útvary*“ a zprůměrování s jeho těžištěm; co konkrétně reprezentuje obrázek 6.5; co jsou modré body v obrázku 3.2) a okomentované (co reprezentuje obrázek 5.3, který není nikde odkazován).

Kvalita řešení a dosažených výsledků:

Návrh nástroje pro automatizované sloučení modelů:

Této problematice je věnována kapitola 5, v popsaném návrhu však shledávám **několik problémů a nevhodných či nezdůvodněných rozhodnutí**:

- Do konfiguračního souboru (obrázek 5.2) se cesty k souboru MAT přidávají společně s přepínačem, který určuje, jaká kost je souborem reprezentována, přičemž ale v jednom souboru může být uloženo najednou více kostí. Např. v souboru icl/tibia_l.mat je uložena tibia spolu s fibulou, v konfiguračním souboru je přidán přepínač pro levou tibií, tj. nástroj „netuší“, že tam má i fibulu. Co když by byl ale přidán další dataset, kde bude každá kost uložena ve svém souboru, jak se docílí toho, aby byly zprůměrované všechny fibuly dohromady a ne zvlášť ty, které jsou ve stejném souboru s tibií, a zvlášť ty uložené odděleně. Nebude ve finálním výsledku nakonec fibula dvakrát, jednou jako součást tibie a podruhé samostatně?
- Na straně 21 je uvedeno, že při provádění nerigidní registrace pomocí metody ICP (Iterative Closest Point) bude jako zdrojová kost zvolena ta s větším počtem vrcholů, aniž by bylo uvedeno, proč k této volbě došlo a proč přijde autorovi práce lepší než volba opačná, která je použita v práci, ze které autor vycházel.
- Dále je na straně 21 řešeno stanovení zobecněného modelu kosti. Zvolený přístup k vrcholu z jedné trojúhelníkové sítě, hledá nejbližší trojúhelník na druhé síti a jejich polohy se průměrují, přičemž si student zvolil, že při výpočtu průměru je trojúhelník reprezentován těžištěm. Zvolenou volbu shledávám značně problematickou. Pokud model, ze kterého se berou trojúhelníky, bude mít mnohem řidší vzorkování než druhý model, pak se bude několik bodů průměrovat se stejným bodem a kost bude deformována. Student tento problém sice později odhalil a těžiště nahradil přístupem založeným na barycentrických souřadnicích, nicméně u některých experimentů nedošlo k vygenerování výsledků pro nový přístup a v práci jsou tak pro ně uvedeny pouze výsledky s původním nevhodným přístupem (např. obrázek 6.5).

Implementace:

V kapitole 5 je uvedeno: „*Pro co nejlepší a nejpřesnější výsledky je lepší zadávat modely po jednotlivých kostech, pokud je to možné.*“ Ve skutečnosti typy kostí, které je možné do modelu přidat, jsou ve finální implementaci značně omezené (dají se přidat pouze levá/pravá stehenní, holenní a hlezenní kost a kosti pánve), a tudíž pokud bude uživatel mít například holenní a lýtkovou kost v oddělených modelech, pak zde neexistuje způsob (kromě sloučení do jednoho modelu), jak lýtkovou kost do modelu jednoduše přidat. Uvedené omezení není ani nikde v textu práce diskutováno (z kapitoly 5 spíše vyplývá, že je možné přidávat všechny kosti dolních končetin v oddělených souborech; v kapitole 7 autor uvádí, že kvůli problémům jsou vynechány patní kosti a kosti prstů, o ostatních se nezmiňuje). Omezení v plné šíři autor přiznává pouze v dokumentu `navod_ke_spusteni.pdf`, který je součástí přiloženého zip souboru.

Dále se v kapitole 5 uvádí: „*Pokud by uživatel zadal odkaz na neexistující soubor, nástroj tento model vynechá a uživatele o tom informuje.*“ Program však ve skutečnosti v takovém případě skončí chybou.

V kapitole 6.1.1 se uvádí: „*V konečném řešení se proto slučují pouze modely jednotlivých kostí. Toto omezení ale nevádí, protože jak je patrné z analyzovaných datových množin, není obvyklé, aby v jednom vstupním modelu bylo obsaženo více kostí.*“ Zajímalo by mě, na čem je tvrzení založeno, protože z popisu datových sad v kapitole 4 **nemohu s tímto závěrem souhlasit**.

Největší nevýhodu navrženého a implementovaného řešení shledávám v tom, že v důsledku postupného zpracovávání kostí **je metoda silně závislá na pořadí jejich zpracování**, protože každá kost ovlivňuje výsledek jinou vahou. Naposledy zpracovaná kost má váhu 0.5 a u dříve zpracovaných kostí se váha snižuje exponenciálně. Student sice navrhl úpravu řešení, která

slučuje všechny kosti najednou, ale výsledek (obrázek 6.6) nemá očekávanou kvalitu, student toto v kapitole 6.1.4 uzavřel prohlášením: „Kód jsem několikrát prošel a na důvod toho, proč jsou výsledné modely, po spuštění této metody zubaté, jsem zatím nepřišel.“ Z textu práce však není jasné, zda byl pro průměrování bodů použit přístup založený na těžišti nebo na barycentrických souřadnicích. Ze zdrojového kódu se však zdá, že byl použit přístup založený na těžišti, což shledávám zdrojem problému, který bych čekala, že **student odhalí a otestuje**.

Výsledná implementace na vstupu očekává datové soubory ve formátu MAT, proto bych očekávala, že součástí práce bude i konvertor do tohoto formátu, aby mohla být aplikace použitelná pro anonymizovaná data získaná z různých lékařských databází. Takový konverzní nástroj jsem však v práci nenalezla, což považuji za **velmi závažný nedostatek**.

V přiložené implementaci jsou ve složce Vstupni_data sice zahrnuty tři vzorové konfigurační soubory, nicméně **ani jeden z nich není korektní** (špatně zadané cesty k souborům s modely kostí, v souboru config1.txt využit neexistující dataset TLEM_MRI), a tak uživateli nezbývá nic jiného než si pro účely testování napsat vlastní konfigurační soubor, případně opravit dodané soubory.

Testování:

Autor v kapitole 7 sice prezentuje výsledky tří testů, nicméně u druhého (obrázek 7.2) a třetího (obrázek 7.4) testu vůbec neuvádí, pro jakou konfiguraci daný výsledek vznikl.

Formát prezentace chyby po provedení rigidní registrace na obrázku 7.3 je nevhodně zvolen, na jeho základě bych si netroufla tvrdit, cituji: „Na obrázku 7.3 je vidět, že první model má po rigidní registraci kyčelní kloub tam kde má druhý model kloub kolenní a naopak.“

Přestože autor v kapitole 4 (Datové sady) analyzuje celkem 8 různých datových sad, některé z nich, nejsou vůbec v experimentech využity. Celkem mě zarazí, že autor neuvedl ani jeden experiment s datovou sadou LHDL_CT, která je odborníky v oblasti muskuloskeletálních modelů považována za „nejhezčí“ sadu z hlediska kvality dat. Dále bych také očekávala provedení experimentu s datovou sadou VAKHUM_CT, která jako jediná nemá kosti správně rozmístěné v prostoru.

Celkově **testování považuji za nedostatečné**, pravdivost v práci uvedených závěrů nelze na základě prezentovaných experimentů ověřit. Student na začátku 7 kapitoly sice tvrdí: „Program jsem testoval pro nejrůznější vstupy během celého vývoje.“ Na druhou stranu však po celou dobu vývoje docházelo k zásadním zásahům do implementace, jak je z textu práce patrné.

Práce s literaturou:

Použitá literatura je relevantní, avšak považuji ji za nedostačující. Použito je celkem 13 elektronických zdrojů, 6 z nich je však využito pouze jako odkazy na datové sady a další 3 odkazují na repozitáře s knihovny. Ve finále tak zbývají pouze 4 významnější reference. Možná kdyby autor využil více referencí a nastudoval si z nich pečlivěji potřebnou problematiku, nemusel by text obsahovat zásadní faktické chyby.

Splnění zadání:

O tom, zda bylo zadání splněno lze těžko rozhodnout. Celkově na mě práce působí tak, že student neprovedl dostatečnou analýzu všech použitých nástrojů, což bylo úkolem prvního až třetího bodu zadání, a tudíž se později musel vypořádat s tím, že nástroje fungují jinak, než předpokládal, k čemuž by nedošlo, kdyby student dostatečně vypracoval uvedené body zadání. Z tohoto důvodu musel autor i několikrát zásadně měnit navržené řešení a implementaci. Za slabé považuji i vypracování pátého bodu zadání, jelikož jsou ve výsledné implementaci značně omezené typy kostí, které lze mít na vstupu, a navíc testování, alespoň podle dodaných materiálů, nebylo

provedeno na všech dostupných datových sadách. V rámci šestého bodu zadání měl student zhodnotit dosažené výsledky, bohužel množství provedených a v práci zahrnutých experimentů je tak malé, že s nich lze těžko ověřit pravdivost studentem uvedených závěrů.

Doplňující informaci k práci:

Z posledních dvou kapitol textu se zdá, že si student uvědomuje, jaké má práce nedostatky (alespoň některé), ale buď se z toho snaží udělat pozitivum (např. z faktu, že je výsledek ovlivněn pořadím zpracovávání kostí), nebo se je snaží odsunout do future work. Doslovně uvádí: „*Celkově bych výsledky testování i celé práce hodnotil pozitivně.*“ S tímto závěr nemohu absolutně souhlasit.

Dotazy k práci:

1. Jak bude vypadat generický model dolních končetin, pokud budou sloučeny dohromady všechny datové sady popsané v kapitole 4?
2. Jak bude vypadat výsledek, ve kterém budou sloučeny všechny kosti najednou (tj. všechny kosti výsledný model ovlivní stejnou vahou), pokud bude pro průměrování využit přístup založený na barycentrických souřadnicích?
3. V kapitole 3, a dále pak např. v kapitole 6.1.2, ale i jinde v textu, uvádíte, že se pro každou trojúhelníkovou síť (reprezentovanou jedním MAT souborem) zkontroluje, zda je manifoldní, pokud ne, tak dojde k úpravě a nakonec se odstraní přebytečné komponenty tak, aby v síti zůstala jen jedna komponenta. Na druhou stranu v kapitole 7 říkáte: „*Modely lýtkové a holenní kosti byly vždy zahrnuty v jednom modelu.*“ V takovém případě jsou ale v některých souborech dvě komponenty již na vstupu, v jiných se může síť na dvě komponenty rozpadnout při úpravě. Jak je tedy možné, že jsou ve výsledném modelu vygenerované obě uvedené kosti?
4. V kapitole 6.1.3 na straně 24 uvádíte: „*Rigidně registrovaný model zdrojové kosti se načte jako nový model ze složky cache.*“ Z této formulace mi plyne, že se vracíte k rigidně registrovanému modelu pouze u zdrojové kosti a ne u obou (zdrojové i cílové). Jak tomu je ve skutečnosti?
5. V souboru navod_ke_spusteni.pdf je uvedeno: „*Jedna z datových sad bude zvolena jako cílová.*“ Zajímalo by mě, na základě čeho k této volbě dojde, případně kdo ji provede, protože to není nikde (ani v textu práce) definováno?
6. Zatímco v kapitole 5 (str. 21) uvádíte: „*pro každý vrchol cílové sítě se se vybere jeden trojúhelník na zdrojové síti*“, v kapitole 6.1.3 je to najednou opačně, cituji: „*Ke každému vrcholu zdrojového modelu se najde jeden nejbližší trojúhelník na druhém modelu.*“ Tato záměna, v kombinaci s tím, že výsledek Vašeho přístupu je ovlivněn pořadím, v jakém jsou modely zpracovávány, může dle mého názoru výrazně změnit výsledný model. Proto by mě zajímalo, který přístup je nakonec ve finálním řešení použit?
7. U datové sady TLEM2_MRI uvádíte, že je velmi podobná sadě TLEM2_CT, jelikož obsahuje stejné modely kostí, ale že se tyto dva datasety liší kvalitou. Proto by mě zajímalo, zda pochází tyto dvě sady od stejného pacienta a data se liší jen v použité zobrazovací metodě (CT vs. MRI) nebo se jedná o dva rozdílné pacienty a rozdílné zobrazovací metody?

Vzhledem k výše popsaným nedostatkům, kvalitě výsledného řešení i textu a faktu, že celá práce vyvolává více otázek, než odpovědí **nemohu práci v současném stavu doporučit** k obhajobě a navrhuji hodnocení klasifikačním stupněm „**nevyhověl**“.