

Posudek oponenta bakalářské práce

Autor/autorka práce: **Lukáš Ryppl**

Název práce: **Geometrické reprezentace svalových vláken a jejich vliv na ramena momentů sil**

Obsah práce:

Bakalářská práce Lukáše Rypla se zabývá generováním svalových vláken pomocí Catmull-Rom křivek. Každé svalové vlákno je složeno z několika segmentů, kdy počet segmentů je určován adaptivně pomocí v práci navrženého algoritmu. Dalším cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a implementovat řešení, které zajistí, že nebudou vznikat kolize mezi svalovými vlákny a kostmi při simulaci pohybu. Je to aktuální problém v oblasti studia muskuloskeletálních modelů. Práce je členěna do 11 kapitol.

První kapitola se zabývá obecným úvodem do problematiky a stanovením cílů práce. Následuje kapitola věnovaná principům muskuloskeletálního modelování v běžně dostupných biomechanických systémech.

Dále se text zabývá metodou deformace vláken, která je v rámci bakalářské práce rozšířena o dodatečnou úpravu vláken tak, aby nekolidovala s kostmi. Tuto kapitolu považuji za jedno ze slabých míst práce, jelikož popis metody není zcela srozumitelný a chybí v ní některé důležité informace. Příkladem může být rovnice (3.2), kdy je uváděno, že jakési váhy pro kosti jsou vypočteny pomocí kvadratické funkce, ale již zde není popsáno, co reprezentuje parametr t , teprve z odkazovaného článku čtenář zjistí, že se jedná o relativní pozici i -tého bodu vlákna. Tento nedostatečný popis (a možná i nedostatečné nastudování zdroje) vede k tomu, že v části věnované testování je prezentován nekonzistentní experiment (Obrázky 10.1 a 10.2), který při stanovení vah předpokládá, že jsou body na vlákně umístěny uniformně, což u adaptivního přístupu neplatí, zároveň je zde uvedena i úprava, která je ale vzhledem k definici parametru t v původním článku naprosto logická.

V pořadí čtvrtá kapitola je věnována metodě generování svalových vláken, na jejímž principu je založen studentem navržený a implementovaný adaptivní algoritmus. I v této kapitole se vyskytují pasáže, které nejsou pro nezasvěceného čtenáře zcela srozumitelné a mohly by být popsány či vysvětleny lépe. Největší mystifikaci pak shledávám v první odstavci na straně 17, kde se vyskytují rovnosti $O_1 = Q_0$ a $O_2 = P_0$, přičemž O_1, O_2 zde značí izočáry a proměnná Q_0 resp. P_0 jeden z vrcholů na izočáře O_1 resp. O_2 , z čehož plyne, že uvedené rovnosti jsou nesmyslné.

Poslední kapitola teoretické části práce je věnována Catmull-Rom křivkám, které jsou v práci využívány pro reprezentaci svalových vláken namísto lomených čar použitých v původní metodě. Student si konkrétně vybral kubickou Catmull-Rom křivku. V této části textu se vyskytuje nekonzistence značení, kdy kontrolní body jsou někdy indexovány od nuly a jindy od jedné. V podkapitole věnované vlivu parametru α na tvar kubické Catmull-Rom křivky, je uvedeno, že byla zvolena centripetální křivka, jelikož na rozdíl od ostatních kubických Catmull-Rom křivek nevytvoří ostrý zlom. Zajímalo by mě, co si student pod tímto pojmem přesně představuje, jelikož tyto křivky patří do třídy spojitosti C^1 , tzn. neobsahují žádný bod nespojitosti první derivace, ve kterém by mohlo k popisovanému ostrému zlomu dojít.

Od šesté kapitoly je popsána autorova vlastní práce, kde kapitola 6 se zabývá návrhem adaptivního algoritmu pro určení optimálního počtu segmentů při generování svalových vláken. Použitá chybová

funkce sloužící k rozhodnutí, zda pokračovat v zjemňování vláknů dělením na další segmenty, bere v úvahu vzdálenost křivek ze dvou po sobě jdoucích iterací a úhel mezi tečnami v bodech zlomu. Text uvádí, že úhel nesmí být příliš velký. Jaký úhel si má čtenář pod touto „specifikací“ představit? V kapitole věnované experimentům je uvedeno, že byl nastaven na 90°, což už bych osobně zařadila do kategorie „velký úhel“.

Kapitola 7 pak řeší úpravu vláken, aby nedocházelo k jejich kolizi s kostmi. Následující dvě kapitoly jsou věnovány implementačním detailům navržené dvojice algoritmů. Výtky bych měla zejména ke kapitole 8 zabývající se implementací navrženého adaptivního algoritmu. Autor zde (ale i ve zbytku práce) velice laxně přistupuje k dodržení použitého pojmenování, a dost často místo pojmu počet segmentů vláknů používá pojem počet vláken (ten značí z kolika svalových vláken je tvořen celý sval), což činí text místy obtížně srozumitelný. Vyskytuje se zde také několik faktických a obsahových chyb, například:

- Na straně 28 autor tvrdí, že adaptivní algoritmus bude konvergovat k optimálnímu počtu segmentů v případě, že toto optimum bude menší než zadaný počáteční počet, což není pravdou, naopak optimum musí být větší.
- V Algoritmu 2 je na začátku definován vektor `computed`, ale později je pracováno s vektorem `compute`, dále pro zde volanou metodu `FilterSegment()` není uvedeno, s jakým parametrem má být vykonána, přestože v jejím pseudokódu (Algoritmus 4) je vstupní parametru požadován.
- V kapitole 8.2.1 (popisující význam jednotlivých hodnot obsažených ve vektoru `computed`) je u hodnoty -1 uvedeno, že tato hodnota je do vektoru zařazována, aby dimenze vektoru odpovídala očekávané hodnotě, kterou je počet bodů dělících vláknů na segmenty (tj. počet segmentů+1). Nicméně v uvedeném příkladu (kapitola 8.2.3) má vektor `computed` dimenzi 9, ale vláknů je tvořeno pouze 7 body (což odpovídá počtu nezáporných složek vektoru).
- V Algoritmu 3 chybí uvedení počátečních vstupních parametrů definujících, které segmenty vláken z po sobě následujících iterací mají být porovnávány.
- V posledním odstavci na straně 35 je chybně uvedeno, že krok je postupně vynásoben hodnotami 0, ..., n , správně zde již hodnota n nesmí být zahrnuta, jelikož pak by neplatilo, že parametr t se pohybuje v intervalu $< 0,1 >$.

Celkově je osmá kapitola obtížně čitelná a k pochopení některých autorem popsanych postupů pomohlo až prozkoumání příloženého zdrojového kódu.

Kapitola zabývající se druhou navrženou metodou (úpravou svalových vláken tak, aby nedocházelo ke kolizi s kostmi) je celkem srozumitelná. Jedinou výhradu bych měla k podkapitole 9.2.3, kde je popsáno, že dojde k transformaci bodu z aktuální pozice do původní polohy, aby mohlo být na základě SDF (Signed Distance Field) stanoveno, zda dochází ke kolizi s některou kostí, a pokud ano, tak je pozice opravena pomocí gradientu. Nicméně už zde není uvedeno, zda je na gradient aplikována příslušná transformace, která je nutná k tomu, aby nedocházelo ke zkreslení a zbytečnému prodlužování vláknů.

Desátá kapitola je věnována shrnutí dosažených výsledků a celá práce je zakončena kapitolou se závěrem.

Práce čítá 67 stran a s přehledem tak splňuje požadovaný rozsah. K práci je přiloženo DVD se zdrojovými kódy, soubory potřebnými pro překlad celého projektu, daty a konfiguračními soubory.

Kvalita řešení a dosažených výsledků:

V práci navržené algoritmy byly implementovány v jazyce C++ a byly začleněny do rozsáhlého projektu MuscleWrapping 2, jehož cílem je vytvořit plugin pro OpenSim umožňující snadnou tvorbu biomechanických modelů. Přiložený program je plně funkční, i když jsem při jeho překladu a instalaci narazila na různá úskalí, přestože jsem postupovala přesně podle uživatelské dokumentace (Příloha A). Tím, že řešení rozšiřuje již existující projekt, nelze jednoduše stanovit autorův příspěvek. Z tohoto pohledu bych považovala za žádoucí přiložit do práce přehled, ze kterého by bylo jasně patrné, které části jsou autorovým dílem.

Implementaci metody pro úpravu svalových vláken tak, aby vlákna neprotínala kosti, shledávám jako nedokončenou, jelikož je pouze řešeno, aby se do těchto kolizí nedostávali body vláken, které definují jejich dělení na jednotlivé segmenty, ale už není vyřešena varianta, kdy se do kolize s kostí dostává spojnice mezi těmito body.

Řešení bylo testováno na třech svalech v oblasti ženské pánve (konkrétně na velkém hýžděvém svalu, středním hýžděvém svalu a kyčelním svalu). Detekce kolizí a úprava vláken pak byla testována pro tři základní pohyby stehenní kosti – flexi, rotaci a abdukcii/addukci. Konfigurace experimentů je v práci celkem dobře popsána, postrádala jsem pouze informaci o množství vláken generujících celý sval. Absence této informace může vést k obtížnému pochopení odvození celkového počtu bodů ve svalu v kapitole 10.8.

Provedené experimenty ukazují, jak navržené úpravy generování svalových vláken ovlivňují ramena momentů sil oproti původním metodám, ze kterých práce vychází. Jsou provedeny jak testy, které zahrnují pouze jednu z navržených úprav, tak i testy, které aplikují obě úpravy najednou. Pokud je v řešení uvažována metoda, která řeší kolize vláken s kostmi, mají prezentované grafy „oscilující“ charakter, zejména pro kyčelní sval. Toto chování autor přisuzuje zaprvé kroku o velký úhel při pohybu končetiny a za druhé tomu, že posunutím vlákna mimo kost, dojde k jeho prodloužení, na kterém přímo úměrně závisí velikost ramene.

Všechny experimenty jsou důkladně popsány a zhodnoceny, měla bych jen výhrady k Obrázku 10.8, kde bych považovala za vhodné, aby vizualizace vláken získaných originální metodou a autorem upravenou metodou byla zachycena ze stejného pohledového úhlu. Také použitou kombinaci datových řad v grafech prezentovaných na Obrázcích 10.9, 10.10 a 10.11 nepovažuji za příliš vhodnou, jelikož informace o podílu bodů, pro které byla detekována kolize, je pro některé datové řady těžko interpretovatelná z důvodu malého rozsahu hodnot řady oproti rozsahu svislé osy.

Formální úroveň:

Práce obsahuje malé množství gramatických chyb a minimum překlepů. Stavba některých vět není zcela korektní, ve větě jsou například dvě slovesa, je v ní použito špatné skloňování, či použity hovorové výrazy a spojení (např. „...je možnost SDF uložit k nezaplacení“, „přibude“, atd.).

Práce s literaturou:

Použitá literatura je relevantní a dostatečná pro řešení bakalářské práce.

Splnění zadání:

Zadání práce považuji za splněné, přestože čtvrtý bod zadání není dotažen do úplného konce, jak již bylo popsáno výše, je pouze zajištěno, že s kostmi nekolidují body rozdělující vlákna na jednotlivé segmenty, ale již není zajištěno, aby kolize nenastala pro spojnice mezi těmito body.

Dotazy k práci:

1. V kapitole 10.5 uvádíte, že pro filtraci nežádoucích bodů byl hraniční úhel (mezi tečnami v bodech zlomu) nastaven na 90° . Na základě čeho byl tento úhel zvolen?
2. V Tabulce 10.1 je uveden počet segmentů, který byl použit pro generování jednotlivých vláken testovaných svalů pro původní metodu (vlákno složeno z uniformních segmentů) a navrženou adaptivní metodu (vlákno složeno z optimálního počtu segmentů různé délky), které jsou mezi sebou srovnávány. Nicméně nastavení experimentu mi přijde neobjektivní, protože ve všech případech je pro původní metodu generováno vlákno obsahující méně segmentů (vždy 15) než pro navrženou metodu (počet segmentů je v rozmezí 18 – 22 v závislosti na svalu). Proto by mě zajímalo, jaký vliv má navržená adaptivní metoda na ramena momentů sil oproti původní metodě, pokud budou obě generovat vlákna složená ze stejného („optimálního“) počtu segmentů, tj. pro obě metody bude počet segmentů odpovídat hodnotám v posledním sloupci tabulky.
3. Z grafů na Obrázcích 10.9, 10.10 a 10.11 se zdá, že pro velký hýžďový sval a střední hýžďový sval je detekováno méně kolidujících bodů při použití obou Vámi navržených úprav (tj. detekce kolizí a vlákna generována adaptivní metodou) než při detekci kolizí pro „uniformní“ vlákna. Pro kyčelní sval je tomu však opačně. Čím si tento rozdíl vysvětlujete?

Navrhuji hodnocení známkou **velmi dobře** a práci doporučuji k obhajobě.

V Plzni 26. 5. 2021

Ing. Bc. Zuzana Majdišová, Ph.D.