

## Oponentní posudek disertační práce

Štěpán Vladimír:

### POČÍTAČOVÁ ANIMACE A ANATOMICKY REALISTICKÝ MODEL RAMENNÍHO KLOUBU

---

Předložená práce je z oblasti teoreticko-experimentálních prací. Základním přínosem práce je pokus o integraci současných poznatků a experimentálních přístupů o možnostech řešení animačních úloh, jejichž řešení je omezeno nedostatkem vstupní informace a možnostech jejich doplnění např. z existující animované struktury virtuálního humanoida a využití animačních přístupů pro řešení uspokojivého modelu komplexu ramene při použití anatomicky realistických parametrů a odpovídajícího dojmu z animované scény.

Práce má rozsah cca 144 stran, 43 obrázků, 18 tabulek, 65 citací. Z pohledu formálního lze konstatovat, že práce má méně obvyklou strukturu, která však je důsledkem probírané tematiky. Jednotlivé dílčí problémy jsou tak specifické, že uspořádání do samostatných celků vždy s analýzou poznatků a teoreticko-praktickými implikacemi tvoří fundament, který je přehledný a komplexní.

Práci lze po formální stránce vytknout snad větší množství překlepů. ( str. 56 – inkrementální , 58 – kroků, 59 – zjednodušit, atd., atd., atd. )

*Další část posudku je členěna průběžně na komentář a připomínky a dotazy. Otázky ke zodpovězení jsou vyznačeny tučně.*

Str.10 - anatomický realismus – možná by bylo vhodné užít i bio –mechanický realizmus

Str. 24 – modelování a animace doplňků může být rovněž předmětem biomechaniky ( vlasy, oblečení, předměty v ruce atd.).

Str. 25 – stromový graf transformací – vhodné tento graf na příkladu ukázat

V kapitole Virtuální humanoid popisuje autor detailně problematiku konstrukčních přístupů k virtuálním humanoidům, analyzuje jejich výhody a nevýhody, seznamuje čtenáře např. s principy řešení dosažení výsledné polohy vrcholu pomocí příslušných transformací s omezením vlivu jednotlivých kloubů. Ukazuje některé artefakty provázející výpočty animace ( vykloubení ), problém pokožky ( „papír od bonbónů“ ) a dále další způsoby animace virtuálních humanoidů včetně ISO standardu H-Anim.

**Str. 30 – opravdu obecně při animaci člověka odpadá problém prizmatického spojení?**

Základní úloha moderní animace je úloha IK s omezováním počtu řešení ( constraints ) a jejich preferencí přes tuhost ( stiffness  $\epsilon < 0;1 >$ ).

**Str. 32 – jak souvisí pozn. str. 30 a ...numerická možnost řešení posuvných i rotačních kloubů?**

Dále jsou popisovány technologie pro snímání pohybu ( člověka ), druhy, formáty dat, jejich výhody a nevýhody. V kap. 2.3. je zdůrazněn význam biomechaniky pro vymezení stavového prostoru segmentové struktury těla – zlepšení realistického modelu vzhledem ke skutečnosti. Autor zdůrazňuje, že nejrealističtější animace vychází ze snímání reálného pohybu.

Kap. 3 seznamuje čtenáře s problematikou matematiky rotací ve 3D, geometrickými transformacemi a Eulerovými úhly a výhody a nevýhody polohy bodu pomocí Eulerovými parametry a vztah ke kvaternionu a jeho popis a možné užití zejména pro snadno realizovatelný interpolační mechanismus v počítačové animaci oproti matici.

**Str. 45 – vysvětlit a ukázat – pozice otočeného bodu a její komplikovanost určení – Eulerovy úhly – rotace.**

**V čem je výhoda NASA Standard Aerospace ( z,x,z )?**

” ” ” ” **Aeroplane ( x,y,z )?**

Dále autor představuje dva užívané popisy segmentové struktury s jejich výhodami a nevýhodami včetně jejich formalizace a maticového zápisu

**Obecně postrádám interpretační obrazový ( schematický ) materiál, který by výrazně přispěl k rychlejší a snadnější představě některých speciálních pojmů, jevů, efektů a dalších kroků při popisu animačních procedur.**

Pro řešení úlohy IK jsou dále popisovány důležité omezující podmínky stavového prostoru rotace a tuhosti ( stiffness ). Pro linearizaci problému je popsána konstrukce Jakobiánu, umožňující postupovat v malých krocích v okolí aktuální pozice. Analyzuje problém inverzní matice  $J$ , který pro obdélníkovou matici neexistuje a je nutné použít tzv. pseudoinverzi ( zobecněnou maticovou inverzi Moore-Penrosovu ) s nevýhodou velké citlivosti v singularitách  $AA^T$ . Tu pak řeší pomocí tzv. SR ( singularity robust). Ukazuje i možnosti využití redundance kinematického řetězce pro zlepšení podmínek řešení úlohy IK. Doplnuje dříve představenou metodu CCD jako metodu odolnou vůči singularitám, výpočtově jednodušší avšak oproti pseudoinverzi  $J$  vyžaduje více iterací.

V kap. 5. - IK a omezení kloubů – vymezuje rozdíly pojmů v mechanice a animaci – pohyblivost – zde právě DOF. Rozsah pohybu – zde meze nebo omezení rotace. Vše shrnuje animační pojem TUHOST – stiffness .

Důležitý pojem je OBJEM POHYBLIVOSTI , do kterého spadají všechny rotace, kterých je kloub schopen a jiné ne. Zavádí pojem prosté limity a jejich modelování, směr a krut, sférické polygony a kužely. Obecně se správně dotýká problému např. axiální rotace kloubu, která je anatomicky závislá na směru.

**Str. 68 - Jak jsou limitovány obecně rotace v závislosti na anatomické realitě – např. kyčelní, ramenní a další klouby – vzhledem k prostorové orientaci sledovaného segmentu? – lze ukázat na objemu pohyblivosti a jeho tvaru ?**

IK s nejednoznačností řešení je důležitou premisou animace s realistickým výstupem – interpretací řešení dané úlohy polohy EE se zavedením omezujících parametrů pro klouby animované segmentové struktury. Řešení v předložené práci uvádí přehled animačních technik s účelem zmenšení stavového prostoru struktury ( počet řešení ) pomocí modelování rozsahu pohyblivosti kloubu. Parametr stiffness ( tuhost )  $\langle 0,1 \rangle$  a springiness ( pružnost )  $\langle 0,1 \rangle$  s opačnou „ochotou“ kloubu k pohybu. Vše je dáno do souvislostí s možnostmi animace realistického modelu.

Kap. 6 pojednává o ramenním kloubu z pohledu biokinematické dvojice a zdůrazňuje odlišnost VR – počítačových animací s realitou ( neexistence posunů ). Zavádí pojem rytmus ramene ( shoulder rhythm ) jako soulad současných pohybů všech složek ramenního kloubu.

**Str.76 – ukázat animačně – resp. záznam pohybu při elevaci HK v plném rozsahu se zdůrazněním fází blokování jednotlivých kloubů v průběhu elevace.**

**Str. 77 - tab 6.1. – detailně vysvětlit !!! počet měření + rozdíl + směrodatná odchylka + chyba měření !!! VÝZNAMNOST !?!!?**

**Str. 78 – Co souvislost – neměnnost SC sloubení a C obratlů X animace dýchacích pohybů? Vysvětlit pojem „smyčky“ z pohledu nemožnosti modelování geometrickými transformacemi ( lopatka – hrudník ).**

**Str. 81 – 1. odstavec – vysvětlit, proč animace lopatky bude tolik odlišná od skutečnosti?**

Kap. 6.4.analyzuje komplexitu hierarchie kloubů ramene a jejich předchůdce. Pojednává

o vymezení pohyblivosti příslušných kloubů a vzájemné propojenosti jednotlivých stupňů volnosti. Kap. 7. popisuje implementaci testovací platformy, co to znamená, k čemu slouží a jaké prvky zahrnuje – včetně zavedení orientovaných souřadných os s vlastní VRLM standardizací a použité animační metody CCD pro data z analyzátoru Qualisys včetně algoritmu pro zjednodušení trajektorie ve standardu VRML. Osvětluje před započítáním výpočtu IK nutnost globální transformace humanoida ( umístění na scéně) a obdobně pro EE. Diskutuje řešení kinematického řetězce, řešení pro více EE a hierarchii kinematických řetězců.

Tvorba animace IK metodou představuje spočítat stavový vektor kinematického řetězce pro jednu koncovou polohu EE – jeden snímek animace. Dosáhnout zlepšení neplynulosti pohybu lze zlepšením výpočtu nerealistických postur – to je cíl práce, nebo vyhlazováním – to není cíl práce. Testovací platforma pomocí IK algoritmu vytváří komplexní animace z dat z Qualisysu. Pro řešení navrhuje autor tři hlavní okruhy témat:

1. Popis animovaného virtuálního humanoida s dílčími definovanými postupy a úlohami,
2. měření systémem Qualisys s jednotlivými dílčími úlohami
3. výpočet vlastní animace opět s partikulárními úlohami

a dále tři další dílčí úlohy jako dopracování hlavního návrhu.

V kap. 8 pak autor soustřeďuje pozornost na popis technického řešení při experimentech s animací ramene. Rameno pojímá jako otevřený řetězec SC, AC a GH kloubů. Následující kloub je vždy podřízen geometrické transformaci předchozího. A používá animační CCD metodu. Problém lopatka-hrudník je řešen pohybovými omezeními jednotlivých kloubů.

#### Str.103 – jak byl prakticky prováděn odhad souřadnic kloubů?

Ukázat příklad souřadnic včetně stanovení koncové polohy segmentu podle používaných kroků. Detailně popsat problém použitelnosti anatomických limitů rotace pro omezování stavového prostoru kinematického řetězce včetně obr 8.1.

Disertant dále popisuje souřadné systémy jednotlivých kloubů, jejich meze rotací, parametr stiffness ( v modelu=pohyblivost). Objasňuje pojem pohyblivost-nehybnost a dává je do vztahu pomocí fuzzy logiky pro omezování pohyblivosti kloubu. Definuje relativní polohu klíčové hodnoty v rozsahu pohyblivosti = hodnota „klíč“.

Tvorba realistického modelu ramene vyžaduje nalézt a použít každou dostupnou informaci o pohyblivosti zúčastněných kloubů a vyjádřit jí některou z popsaných závislostí, což autor detailně provádí.

Str.109 - Často, např. při popisu „ našeho „ modelu, chybí přehlednější schéma – obrázek pohybu v ramenním kloubu ( CS ) – je pouze formálně popisován. Interpretace formou grafickou, vizualizace, by velmi vhodně, pokud je to možné, vše doplnila.  
**Nešly by v takovýchto případech ukázat přímo ANIMACE?**

Str.110 - 1. odstavec - vysvětlit pomocí graf. schématu  
- vysvětlit vliv lokte na extenzi GH – anatomicky

Dále diskutuje u jednotlivých kloubů ramene popisné veličiny a jejich vzájemné vazby při akceptaci stiffness jednotlivých stupňů volnosti.

Významným praktickým prvkem ( dokumentací ) je uvedení hodnot pro úhel, klíč a stiffness pro vzájemné vazby mezi SC, AC a GH kloubem v tabulce. **Není jasné ale, zda jede o převzatý nebo vlastní materiál. Příjemná je i z pohledu rychlé představy o struktuře pohyblivosti tab. 8.10, kde však je x a z se jen dá spekulovat!!**

V kap. 8.4 autor popisuje klouby již v jazyce VRML a standardu H-Anim včetně rozšiřujících informací v textovém formátu. Vše detailně komentuje z pohledu programovacího jazyka.

V *experimentální části* popisuje použitá experimentální data z hlediska pohybů a označuje je včetně EEs.

Vlastní experiment dělí na dvě části:

- hodnotící použitelnost animačních metod bez vlastních pohybových omezení,
- věnovanou vlivu pohybových omezení na dosažení cílů a vizuálního realizmu postur.

**Str.119 – obr.9.1, 9.2 – pouze lze „tušit“ o co jde – jinak pro titěrnost špatně identifikovatelné !!!**

Naměřená experimentální data pomocí Qualisysu pak využívá pro testování IK solveru a vyhodnocuje pro různé podmínky dosažení cíle ( jeden nebo více EEs ) s výsledkem příznivějším pro metodu postupného vyhodnocování. Tento výsledek rovněž platí pro přesnost výpočtů. Další experimentální částí je řešení postury s konfiguracemi EEs, z níž nelze vyvodit jednoznačný závěr pro postupy při animaci.

Experimentální ověřování - přiblížení cíle na 2 cm pro EE po 1000 iteracích probíhalo pro kinematické řetězce omezené ( rameno ), neomezené ( páteř ). Výsledky byly i nepoužitelné z důvodů podmínek ( např. neomezená páteř ). Z toho vyplynula úloha řešit budoucnu tento problém. Autor se dotýká i problému retargetingu.

Experimenty s modelem ramene byly realizovány s podmínkami omezení:

1. mezní rotace,
2. zapojení dynamicky vyhodnocované stiffness.

Jsou hodnoceny varianty použitých definovaných podmínek, limity cíle, parametr stiffness, použití mezi ( často způsobuje podmíněné chování ), zhodnocení vzhledu. Např. při užití limitu cíle dosaženo není. Bez užití limitu u 3EE cíle dosaženo avšak za nepřirozené polohy lopatky. Varianty se 2EE jsou příznivější.

Důležitý je poznatek, že dynamicky vyhodnocovaná stiffness ovlivňuje řešení modelu ramenního komplexu někdy i pozitivně. To ukazuje na možný optimizmus na cestě k obecnému modelu kloubu.

Závěr práce obsahuje přehledně výsledky jak potvrzující, tak vyvracející stanovené problémy, tak problémy, které vznikly při řešení hlavních cílů a ukázaly se být nezbytné pro zlepšování výsledků animace obecně.

Vedlejší hypotéza: animační metodu IK CCD lze upravit pro použití více koncových efektorů ke zpřesnění výsledků animace byla potvrzena.

Metoda funguje na všech testovaných datech. Dosažená míra neúspěšnosti při řešení snímků nemusí být na překážku animace. Vizuální kvalita řešení je velmi slušná, zůstává však problém s polohou lopatky. Realistické animace při použití CCD v kombinaci se systémem Qualisys je potenciálně slibná.

Vytvoření takového modelu kloubu, který bude možné použít při modelování ramenního komplexu tak, aby umožnil animační metodě CCD najít řešení vyhýbající se nerealistickým polohám lopatky, je hlavní hypotézou práce.

Po náročných dílčích teoretických i experimentálních krocích ukazuje autor, že předpoklady hlavní hypotézy ... tvorbu modelu ramenního komplexu bez nerealistických poloh lopatky při použití CCD metody nelze bez jejích zásadnějších úprav provést. Na druhé straně však obecně testy použité metody ukazují, že dynamická stiffness může být funkční, ale stojí ještě před dalšími badatelskými kroky.

V kapitole shrnutí pak předkládá autor přínosné výsledky jak např. v geometrickém popisu virtuálního humanoida, výběrů bodů, implementace neomezeného CCD IK solveru, adaptace používané zvolené animační metody a další. V oblasti modelu ramene pak koncepci dynamické stiffness, užití fuzzy logických operací...

Kromě toho podtrhuje i formálně nevýhodné výsledky např. slepou uličku použití metody CCD.

Pro animační metodu i model ramene definuje skupinu úloh, nutných k řešení v budoucích pracech.

### **Hodnocení**

Autor prokazuje široké znalosti v oblasti přejímání informací z literatury,

**Předložená práce se vyznačuje dostatečnou mírou integrace poznatků z oblasti literatury. Je sestavena tak, aby postihla teoreticky, metodologicky a věcně většinu podstatných prvků, procedur, užitého zařízení apod. Dobře jsou propracované výpočtové postupy.**

Práce je teoreticko-experimentální. Její důležitou částí je kromě teoretického řešení i experimentální verifikace animace.

**Hlavní přínos práce spatřuji v rozšiřujícím jak teoretickém řešení problémů animace, tak v experimentální verifikaci navržených řešení.**

Jako každá práce, tak i tato vykazuje skutečnosti, které mohou být vylepšeny, jak bylo naznačeno v připomínkách. Ty však nejsou v žádném případě charakteru, který by tuto práci řadil mezi méně hodnotné.

Naopak, **je nutné zdůraznit**, že postižení této problematiky řešené teoreticko-experimentálním způsobem na příkladu komplexu ramenního kloubu vyžaduje okruhy znalostí teoretických poznatků a praktických zkušeností z matematiky, biomechaniky, anatomie, výpočetní techniky a dalších oborů včetně schopností organizačních a práce v týmu. Ukazuje tak na skutečnost, že takto náročnou úlohu musel autor řešit v širokém kontextu. Prokázal tak svoji vytrvalost, systematickosti, experimentální zručnosti a kreativitu.

### **Závěr**

Po úspěšném vysvětlení hlavních připomínek autorem disertační práce **doporučuji udělení titulu Ph.D. v oboru biomechanika.**

V Praze 25. května 2009



Doc. Dr. Karel Jelen, CSc.  
Universita Karlova v Praze  
Fakulta tělesné výchovy a sportu  
katedra anatomie a biomechaniky