

České Vysoké Učení Technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra počítačové grafiky a interakce



Bakalářská práce

Metody pro popis pohybu v počítačové animaci

Karolína Březová

Vedoucí práce: Ing. Roman Berka, Ph.D.

Studijní program: Softwarové technologie a management

Obor: Web a multimedia

2018

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra počítačové grafiky a interakce

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: Karolína Březová

Studijní program: Softwarové technologie a management
Obor: Web a multimedia

Název tématu: Metody pro popis pohybu v počítačové animaci

Pokyny pro vypracování:

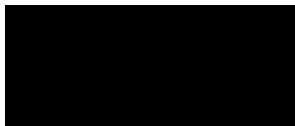
Najděte a prostudujte existující metody pro popis pohybu dvounohé postavy v oblasti počítačové animace, her, choreografie a robotiky a srovnajte je z hlediska využitelnosti pro VR aplikace. Vyhodnoťte nalezené notace a jazyky z hlediska softwarové podpory. Zajímejte se rovněž o možnost zavedení ekvivalence mezi danou notací a popisem pohybu pomocí dat z MOCAP systému za účelem automatické konverze. Srovnajte nalezené notace i z hlediska detailu pohybu, který je daná notace schopna postihnout. Získané poznatky zpracujte ve formě rešerše a vyvoďte závěry vedoucí k výběru nejvhodnějších metod (metody) pro vytváření pohybových sekvencí a jejich převod na úroveň popisu v přímé (případně inverzní) kinematice.

Seznam odborné literatury:

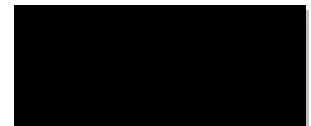
- BECK Jill, REISER H. Joseph. Moving Notation: A Handbook of Musical Rhythm and Elementary Labanotation for the Dancer, Taylor & Francis, 1998.
- BADLER, N. I., and SMOLIAR, S. W. Digital Representation of Human Movement, Computer Surveys, Vol. 11, No 1, March 1979.

Vedoucí: Ing. Roman Berka, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2018/2019



prof. Ing. Jiří Žára, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 4.4.2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Praha, 25.5.2018


.....

Poděkování

Ráda bych poděkovala Ing. Romanu Berkovi Ph.D. za cenné rady a čas věnovaný konzultacím k této práci. Také bych chtěla poděkovat Petru Machkovi za pomoc, podporu a pochopení.

Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Seznam tabulek.....	7
Seznam obrázků.....	7
Abstrakt.....	8
Abstract.....	9
1. Úvod.....	10
2. Rešeršní část	12
I. Oblast choreografie.....	13
A. Sutton Movement Writing.....	13
B. Benesh Movement Notation.....	13
C. Labanotation.....	14
a) Software - LabanWriter.....	15
D. Eshkol-Wachman Movement Notation (EWMN).....	16
a) Software - EW Notator a MovEngine.....	19
Srovnání.....	20
II. Oblast počítačové animace	21
A. Animace z hlediska přístupů k reprezentaci pohybu.....	21
a) Software - DanceForms 2.01.....	21
b) Software - Jack 8.0.....	21
Srovnání.....	22
3. Návrhová část	24
I. Možnosti využití prozkoumaných metod popisu pohybu.....	24
Další informační zdroje	24
II. Teoretický rozbor problematiky	25
A. Využití notací v dnešní době.....	25
B. Animační programy a uživatel	27
III. Teoretický návrh aplikace.....	27
A. Cílová skupina.....	28
B. Uživatelské požadavky.....	28
C. Principy navrhovaného SW.....	29
a) Drag and drop	29

b)	Vstupní/výstupní soubory	30
c)	Podoba stick figure	30
D.	Grafický návrh prostředí	31
a)	Modelovací okno	31
b)	Mapa pohybu	32
c)	Časová/poznámková osa	34
4.	Implementace	35
I.	Načítání BVH	35
II.	Klouby	35
III.	Práce do budoucna	36
5.	Diskuze	37
6.	Závěr	38
	Použitá literatura	39
	Seznam používaných zkratek	41
	Seznam příloh	41
	Přílohy	42
	Příloha 1: Status MVETest implementace	42
	Příloha 2: EW Notator	43
	Příloha 3: DanceForms 2.01	44
	Příloha 4: MovEngine	45
	Příloha 5: Jack 8.0	46
	Příloha 6: LabanWriter	47
	Příloha 7: Ukázky výsledků práce	48
	Příloha 8: Obsah přiloženého DVD	51

Seznam tabulek

Tabulka 1: Specifikace person v oblasti tance a archivace 26

Seznam obrázků

Obrázek 1: Porovnání záznamů dle abstrakce a podrobnosti (modré označení – taneční notace, oranžové – animační sw, zelené – mocap data) 11

Obrázek 2: Příklad Sutton Movement Notation [2] 13

Obrázek 3: Příklad Benesh Movement Notation [3] 14

Obrázek 4: Struktura Labanotation [8] 15

Obrázek 5: Tělo jako systém kloubů a os [11] 16

Obrázek 6: Sférický referenční model [13]

Obrázek 7: Individuální referenční systém [13] 17

Obrázek 8: Rotační pohyb, kónický pohyb, rovinný pohyb [12] 18

Obrázek 9: Hierarchie kostry v souborech BVH [22] 30

Obrázek 10: Náhled modelovacího okna – stick figure v T-pozici 32

Obrázek 11: Návrh mapy pohybu pro záznam jedné postavy 33

Obrázek 12: Návrh mapy pohybu pro záznam skupiny 33

Obrázek 13: Rotace vybraného kloubu 36

Abstrakt

Tato práce shrnuje základní principy vybraných tanečních notací pro záznam pohybu, především Labanotation a Eshkol – Wachman Movement Notation, a analyzuje jejich možnosti. Také hodnotí software pro práci s notacemi a pro popis pohybu v počítačové animaci. Zjištěné výsledky porovnává s potřebami dnešních uživatelů a navrhuje jedno z možných řešení záznamu pohybu. Práce poskytuje teoretický i praktický pohled do problematiky záznamu pohybu v tanci a počítačové animaci.

Klíčová slova: taneční notace, Labanotation, Eshkol – Wachman Movement Notation, animace postavy, notační software, bvh, motion capture, návrh softwaru

Abstract

This work compiles basic principles of selected dance and movement notations, mainly Labanotation and Eshkol – Wachman Movement Notation, and explores their capabilities. Notation software as well as software for figure animation is also analyzed. Based on the provided results and user requirements evaluation, a new software solution is proposed. This work also provides theoretical and practical insight into the issue of motion capture for dance and computer animation.

Keywords: movement notation, Labanotation, Eshkol – Wachman Movement Notation, figure animation, movement notation software, bvh, motion capture, software design

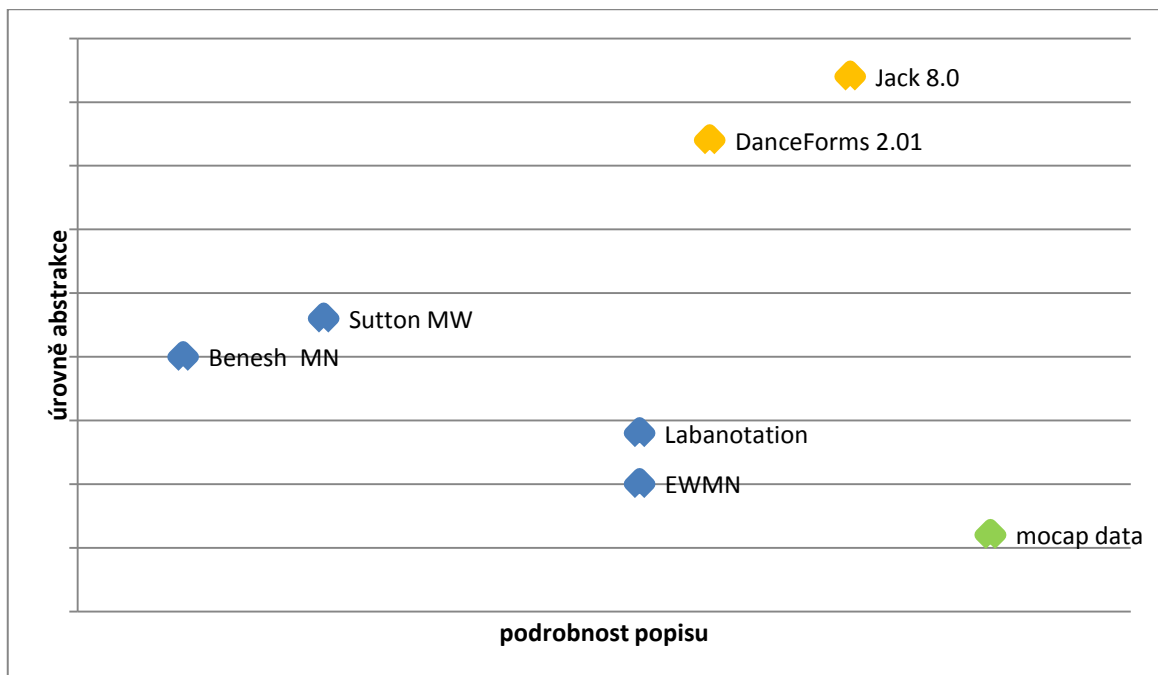
1. Úvod

Tato práce se zabývá způsoby záznamu pohybu postavy. Vzhledem k velkému množství možných přístupů k této problematice byla zkoumaná oblast omezena na obor tance a související počítačové animace. Záznamy z této oblasti - pokud vůbec existují - jsou nejednotné, často nesrozumitelné a jejich archivace je tak značně problematická. Přestože existují notace či programy vytvořené přímo k záznamu tance i pokročilé technologie pro podrobný a unifikovaný záznam pohybu, choreografové těchto možností využívají jen zřídka. Zde je třeba brát v úvahu i nízké povědomí o existenci zmíněných technologií, protože s nimi běžný uživatel nepřichází - na rozdíl od technologií ve spotřební elektronice - do styku. Možnosti záznamu pohybu v rámci širokého spektra uživatelů tak můžeme považovat za závislé na technologiích aktuálně používaných ve spotřební elektronice. Celá práce se proto zabývá hledáním současného řešení pro manuální i elektronické zpracování.

Cílem práce je popsat a porovnat vlastnosti vybraných notací pro popis pohybu z oblasti tance a choreografie. Zároveň se soustředí na zhodnocení jejich případné softwarové podpory – především softwaru pro zápis těchto notací, ale i možnosti zobrazení zapsané sekvence pomocí 3D animace. Práce se dále zabývá oblastí počítačové animace na úrovni srovnání vybraných programů určených pro manipulaci s postavou. Tato oblast je v tomto textu posuzována pouze na úrovni animačního softwaru (typu keyframe based), jiné přístupy k této problematice jsou předmětem pro další zkoumání. Dalším cílem práce je také prozkoumané možnosti zhodnotit z hlediska využitelnosti v kontextu dnešních běžně dostupných technologií a potřeb cílových skupin. Třetím cílem je navrhnout způsob záznamu pohybu, který uživatelské potřeby zohledňuje a umožňuje propojení s daty typu motion capture. Výstupem této práce je teoretický návrh aplikace.

Podrobněji rozebírané notace byly vybrány na základě jejich univerzálnosti a vysoké podrobnosti záznamu s cílem nalézt notaci, která by byla vhodným základem pro vytvoření softwaru k úpravě dat z motion capture. Dále byla zohledňována jejich syntaxe (grafická/textová). Software byl porovnáván z hlediska intuitivnosti uživatelského prostředí, dostupné dokumentace, případné existence doplňujících knihoven/souborů, rozsahu možností a celkového přínosu uživateli.

Všechny oblasti přístupu k záznamu pohybu v této práci rozebírané byly také porovnány vzhledem k záznamům z motion capture. Dále byly seřazeny podle objemu informací, které o pohybu poskytují, a podle úrovně abstrakce. Úrovněmi abstrakce zde rozumíme názornost pro člověka. Na nejvyšší úrovni se pohybují záznamy a nástroje lidem dobře srozumitelné, na nejnižší naopak strojově zpracovávaná data. Toto rozdělení je znázorněno zde (Obrázek 1). Dle výše zmíněných kritérií byly k bližšímu zkoumání vybrány Labanotation a EWMN.



Obrázek 1: Porovnání záznamů dle abstrakce a podrobnosti (modré označení – taneční notace, oranžové – animační sw, zelené – mocap data)

2. Rešeršní část

Pohyb postavy je možné reprezentovat mnoha způsoby. Jedno z možných rozdělení těchto způsobů je dle oboru - na oblast tance a choreografie a zde existujících notací, které pohyb popisují, a na oblast počítačové animace, kde je pohyb zobrazován případně generován a upravován. V průběhu minulého století vzniklo několik diametrálně odlišných notací využívaných primárně k zaznamenání a analýze taneční choreografie [1]. Společným znakem většiny těchto notací byl původní úmysl zapisování nebo zakreslování na papír, čemuž odpovídají jejich převážně grafické syntaxe. Některé z těchto notací jsou jednodušší na zaznamenání i čtení, např. Sutton Movement Writing [2] nebo Benesh notation [3]. Tyto notace mají své výhody, jejich méně komplikovaná syntaxe může být pro některé účely lépe použitelná, ale pohyb zaznamenávají převážně schematicky. Jiné notace už jsou podstatně komplikovanější. Sem patří zejména Labanotation [1] a Eshkol-Wachman Movement Notation [4]. Jejich zápis i analýza vyžadují podrobné znalosti metodiky a jistou praxi, což mnoho tanečníků ani choreografů nemá a nevyužijí tak potenciál těchto notací [5]. S příchodem technologie a dostupností osobních počítačů široké veřejnosti vznikla pro tyto notace celá řada softwarových nástrojů – notačních editorů. Jejich hlavní úlohou je pohodlnější zápis, možnost editace i uložení v digitální podobě.

Hledáme-li univerzální notace dále využitelné v souvislosti s digitální reprezentací lidského pohybu, Sutton Movement Writing ani Benesh Movement Notation nejsou dostatečně podrobné. Benesh Movement Notation je navíc určená pouze pro balet. Naproti tomu Labanotation a EWMN zaznamenávají pohyb mnohem detailněji a nabízí tak větší flexibilitu. Některé programy (např. MovEngine), které umožňují zaznamenávat, analyzovat či upravovat pohybová data, eliminují nutnost podrobných znalostí metodiky a umožňují manipulovat s postavou v netriviálním, leč uživatelsky představitelnějším prostředí. Tento způsob využití tanečních notací už poměrně úzce souvisí s druhou zmíněnou kategorií, tedy s oblastí animace.

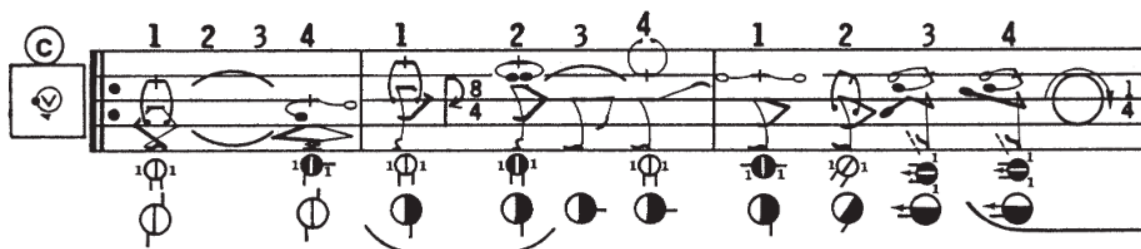
V počítačové animaci není - na rozdíl od tanečních notací - hlavním účelem pohyb zaznamenat, ale spíše zaznamenat a zobrazit. Na tuto problematiku můžeme nahlížet z různých úhlů, resp. z různých úrovní abstrakce od nejnižší (způsobu jakým je animace implementována) až po úroveň nejvyšší (zobrazení samotné animace - videa). V části práce, která se zabývá počítačovou animací, jsou zkoumány především animační

programy (DanceForms 2.01 a Jack 8.0), které umožňují s postavou manipulovat a vytvářet pohybové sekvence. Nižší úroveň bude předmětem dalšího zkoumání.

I. Oblast choreografie

A. Sutton Movement Writing

Sutton Movement Writing (také International Movement Writing Alphabet - IMWA) je univerzální notace k záznamu pohybu, kterou vytvořila Valerie Sutton v sedmdesátých letech. Pomocí této notace je možné zaznamenat tanec, sport ale i mimiku a znakovou řeč. Pohyb se zaznamenává zakreslováním zjednodušené postavy (stick figure¹)² do manuskriptu, který je tvořen pěti linkami. Vertikálně je tak prostor rozdělen na pět úrovní. Kromě zjednodušené postavy je notace doplněna o symboly reprezentující třetí rozměr [2] [6]. Notace je velmi názorná, pro využití v softwaru ale příliš zjednodušující a nepodrobná.



Obrázek 2: Příklad Sutton Movement Notation [2]

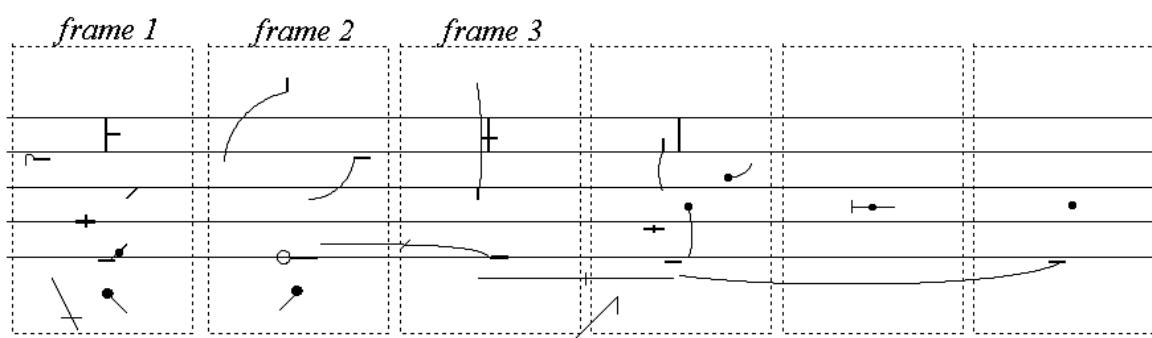
B. Benesh Movement Notation

Benesh Movement Notation je grafická notace vytvořená primárně k zaznamenání baletu. Pohyb se zaznamenává do manuskriptu složeného z pěti horizontálních linek, prostor je (stejně jako u Sutton Movement Writing) rozdělen na pět úrovní – zde konkrétně: linka vršku hlavy, linka ramen, pasu, kolen a podlahy. Mezi

¹ V tomto textu je v závorkách za některými termíny uváděn pro lepší orientaci v problematice i jejich anglický překlad.

² Pojmem stick figure v tomto textu rozumíme maximálně zjednodušenou postavu složenou z čar reprezentujících části těla. V oblasti 3D animace a návrhu softwaru je tento termín rozšířen o klouby, které zmíněné části těla – tzv. kosti - spojují.

tyto linie se zakreslují symboly pro umístění končetin v dané pozici. Pohyb je tak v manuskriptu zaznamenán jako posloupnost pozic, jako například zde (Obrázek 3). Tři typy symbolů umožňují dodat notaci třetí rozměr. Notace za použití mnoha dalších symbolů umožňuje např. zaznamenat interakce dvou osob i pohyb skupiny po scéně [3]. Notace schematicky označuje pouze klíčové informace potřebné k rozeznání baletních figur (pozic) a přechodů mezi nimi. Bližší informace o figurách notace neposkytuje. Jejich správné provedení je již definováno baletní naukou a notace předpokládá její znalost.

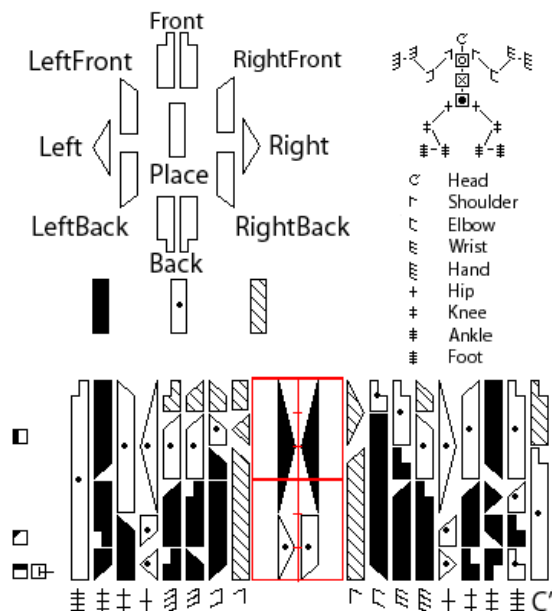


Obrázek 3: Příklad Benesh Movement Notation [3]

C. Labanotation

Labanotation je grafická notace k zaznamenání pohybu postavy vytvořená na počátku dvacátého století Rudolfem Labanem. Jde o velmi univerzální a podrobný systém, který je založený na zjednodušení lidské postavy na soubor propojených kloubů. Pohyb se dále zakresluje pomocí sady symbolů paralelně v několika sloupcích (podobně jako noty v osnově), přičemž jeden sloupec slouží pro záznam jedné části těla, a výsledný zápis (manuskript) se čte odspoda nahoru. Manuskript je rozdělen středovou linií reprezentující linií těla, na levé straně od této linie se ve sloupcích zaznamenává levá polovina těla, na pravé straně je tomu analogicky. Počet sloupců také ovlivňuje podrobnost záznamu, proto je možné použít standardní (standard staff), rozšířený manuskript (expanded staff), který umožňuje použít další modifikující symboly, ale také lze použít vlastní manuskript s netypickým počtem a volbou sloupců. Každá část těla (převážně klouby) má svůj vlastní symbol, tím je označen sloupec, který danou část zaznamenává. Základní symboly používané notací, udávají několik druhů informací. Jejich tvar znázorňuje směr, výplň symbolu určuje jednu ze tří horizontálních úrovní

(nahore - diagonální pruhy, uprostřed - tečka, dole - černá výplň), délka symbolu odpovídá délce trvání pohybu. Těmito symboly můžeme popsat pozici (Obrázek 4). Pro popsání pohybu je třeba mnoha dalších symbolů upřesňující trajektorii cesty, po které se postava pohybuje, symbolů pro různé rotace těla, opakovací znaky (využitelné pro pohyby typu chůze) a mnoho dalších [1] [7].



Obrázek 4: Struktura Labanotation [7]

a) Software - LabanWriter

V souvislosti s Labanotation je v literatuře zmiňováno více nástrojů, některé ovšem nejsou volně ke stažení, jiné jsou naopak určeny pouze pro konkrétní platformu a u dalších už se vývoj zastavil a nejsou déle dostupné. Zajímavý je software LabanPad, který staví na původní myšlence ručního zakreslování znaků a přenáší ji do softwarového provedení (podobně jako Calvert a Chapman už v roce 1978 ve své práci [8]), je tedy použitelný pouze pro počítače s dotykovou obrazovkou a umožňuje interaktivní vstup. Ani tento software bohužel není dostupný a není zcela jasné, zda byl vůbec dokončen jeho vývoj. Pro OS Windows se mi použitelný aktuálně dostupný freeware nástroj nalézt nepodařilo, otestovala jsem ale LabanWriter [9].

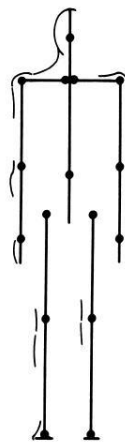
Software LabanWriter je notační program určený pouze pro Mac OS. Má poměrně jednoduché rozhraní. Program otevře prázdnou stránku (určenou pro zápis notace) a okno pro výběr symbolů a přepínání módů. Symboly jsou zde k dispozici v poměrně přehledných kategoriích, módy je třeba přepínat na základě akce, kterou chceme provést: přidat symbol, text, vytvořit manuskript apod. Software umožňuje

přepínat mezi jednotlivými módy pomocí klávesových zkratk, což bude zřejmě hlavním důvodem jeho omezení na Mac OS. Některé symboly můžeme vložit pouze jako obrysy a další vlastnosti (například výplň) jim určit pomocí možností v okně „Manipulate“. Zde je možné symboly různě škálovat, rotovat a jinak upravovat. Mnoho vlastností je sice možné nastavit do nejmenších detailů (velikost papíru, zarovnání/barva symbolů atd.), zároveň je ale třeba vytvořit vždy vše úplně od začátku. Není zde žádné úvodní rozložení, ze kterého by se dalo vycházet a tak jen úvodní vytvoření manuskriptu zabere nezanedbatelný čas.

Také je třeba zmínit, že software umožňuje notaci pouze zaznamenat a z vytvořeného souboru lze vytisknout. K vytvoření 3D animace z dat zapsaných v LabanWriter zřejmě software existoval - LabanDancer, ale dnes už bohužel není dostupný a tak čas i úsilí potřebné k zápisu notace pomocí LabanWriter poněkud ztrácí smysl. Jediný další software, který s takto vytvořeným manuskriptem umí dále pracovat, je LabanReader [10]. Jde ale pouze o drobnou nadstavbu pro výukové účely, která umožňuje selektivně zobrazovat skupiny symbolů podle přiřazené barvy.

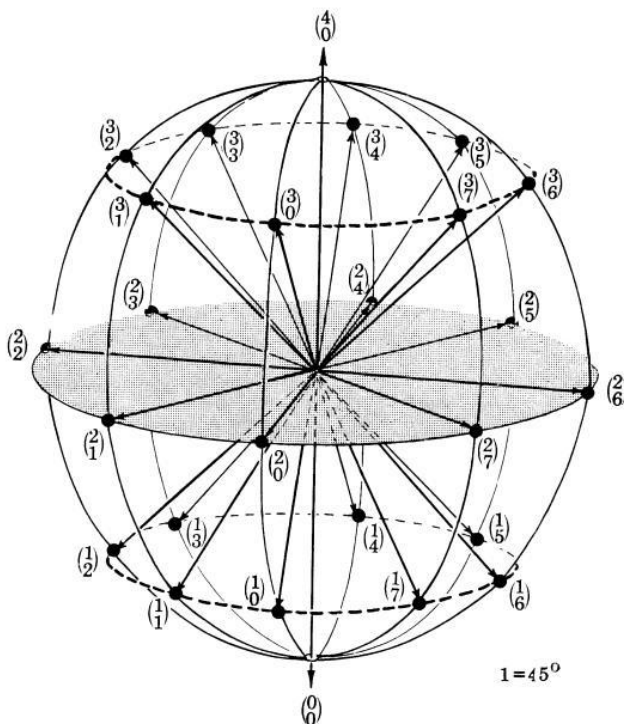
D. Eshkol-Wachman Movement Notation (EWMN)

Tuto notaci vytvořili v padesátých letech Noa Eshkol a Avraham Wachman. Jejich systém nezávisí na druhu tance ani na výchozí pozici a představuje tak velmi univerzální a podrobnou interpretaci pohybu [4]. EWMN je navržena tak, že vyjadřuje vztahy (a jejich změny) mezi částmi těla, lidskou figuru proto zjednodušuje do podoby drátěného modelu, se kterým dále pracuje jako se souborem kloubů a os (Obrázek 5).

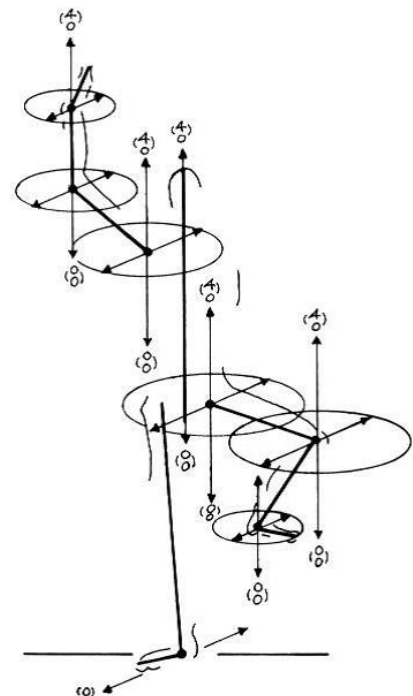


Obrázek 5: Tělo jako systém kloubů a os [11]

Za končetinu je považována jakákoli část těla (osa) spojující dva klouby nebo je připojená jedním kloubem a má volný konec [11]. Přestože jsou končetiny propojené a tělo se ve skutečnosti pohybuje jako celek, pro účely EWMN je možné každou končetinu zapisovat a analyzovat zvlášť. K tomuto účelu napomáhá rozdělení končetin na lehké (light) a těžké (heavy), přičemž tyto dva stavy se vzájemně nevylučují. Jako těžkou končetinu popisujeme takovou končetinu, která při pohybu aktivně manipuluje s další končetinou, ta je pasivně manipulována a označujeme ji jako lehkou. Podstatné je zmínit, že nejen že končetina může být zároveň lehká i těžká, ale tyto dva stavy se u ní mohou měnit v průběhu pohybu. K určení pozice používá EWMN sférického grafického modelu – referenčního systému (The System of Reference), přičemž volný konec končetiny se v tomto modelu pohybuje po povrchu této sféry po tzv. cestě pohybu. Sféra je rozdělena horizontálně i vertikálně v potřebném intervalu (nejčastěji $8 \times 45^\circ$) na několik rovin a jejich průsečíky jsou očíslovány od 0 (absolutní nula). Pozice končetiny na povrchu sféry může být určena dvěma souřadnicemi ve tvaru $\begin{pmatrix} v \\ h \end{pmatrix}$ v – vertikální (Obrázek 6). Pomocí doplňujících značek může být pozice určena ještě přesněji [11] [12].



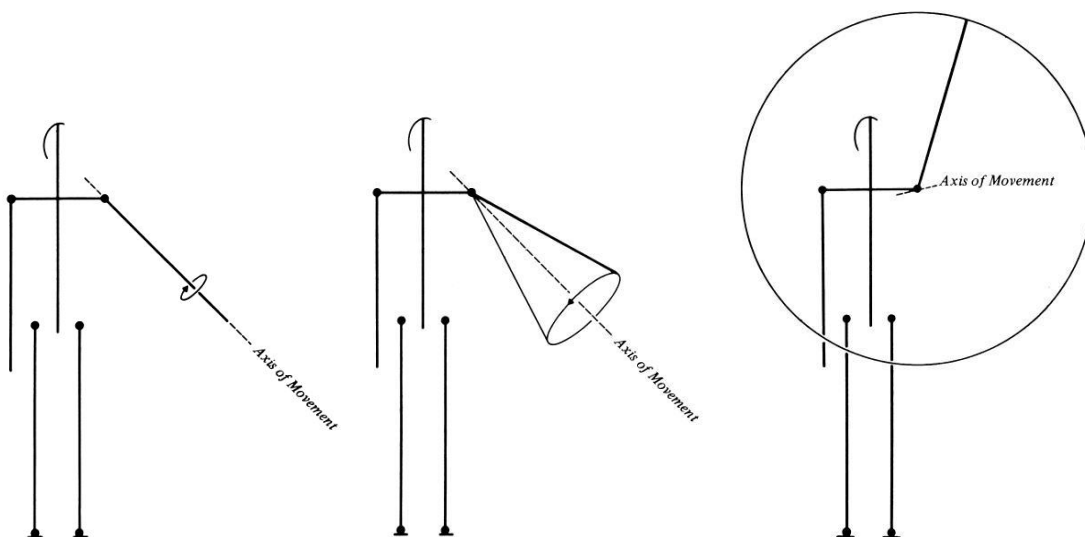
Obrázek 6: Sférický referenční model [12]



Obrázek 7: Individuální referenční systém [12]

Každá končetina bude mít ještě svůj vlastní – individuální referenční model (Individual System of Reference), tělo je tedy považováno za polysférickou strukturu. Středem každého individuálního referenčního modelu je kloub, kterým je končetina připojena k sousední těžké (heavy) končetině. Protože se v průběhu pohybu může měnit klasifikace končetin z těžkých na lehké a obráceně, mění se analogicky i individuální modely, které v dané chvíli pohyb přenášejí. Orientace referenčního systému se ale v závislosti na pohybu nemění, náklon ploch i nulový směr (absolutní nula) zůstávají vždy stejné a mění se pouze vztah postavy k referenčnímu systému (Obrázek 7) [12].

Pomocí referenčního modelu lze nejen určit pozici, ale je také možné popsat i druh pohybu jednotlivých končetin. EWMN rozlišuje tři druhy pohybu: rotační, kónický a rovinný, přičemž jde vždy o stejný pohyb (opsání kruhu) v různých extrémech (Obrázek 8).



Obrázek 8: Rotační pohyb, kónický pohyb, rovinný pohyb [11]

Jako základní možný pohyb pro končetinu je zde považováno opsání kruhu. Pomyslnou spojnicí mezi kloubem pohybující se končetiny a středem opisaného kruhu lze potom označit za osu pohybu. Protože tato osa vychází z kloubu, k přesnějšímu určení pohybu je možné využít individuální referenční model, protože kloub je právě jeho středem. Druh pohybu je potom určen úhlem mezi osou pohybu a pozicí osy končetiny během pohybu. Velikost úhlu mezi osami přímo souvisí s tvarem a délkou cesty pohybu. Pokud je úhel 90° (osa pohybu je kolmá na osu končetiny), končetina se pohybuje po ploše. Označujeme to jako rovinný pohyb a cesta pohybu je nejdelší možná. V opačném případě, když je úhel nulový, se pozice obou os shodují a

vzniká rotační pohyb – tedy končetina se otáčí kolem své osy a cesta pohybu je naopak nejkratší. Třetí možností je úhel v rozmezí 0° - 90° (krom již zmíněných extrémů), čímž vzniká pohyb kónický. Každý z těchto tří pohybů má v EWMN symbol: rotační pohyb se značí \curvearrowright , kónický pohyb \wedge a rovinný pohyb \uparrow [11].

EWMN je zapisována zleva doprava do mřížky (manuskriptu), která reprezentuje části těla a jejich umístění v čase. Mřížka je rozdělena horizontálně na několik řádků, každý slouží pro jednu část těla a pohyb je tak možné zaznamenávat paralelně (podobně jako u Labanotation). Vertikální dělení slouží k označení jednotek času. Do jednotlivých řádků se pomocí souřadnic $\begin{pmatrix} v \\ h \end{pmatrix}$ zaznamenávají známé pozice a mezi nimi druh popř. směr pohybu pomocí pohybových značek. Jde tedy o jistou obdobu klíčových snímků.

a) Software - EW Notator a MovEngine

Z hlediska softwarové podpory existuje pro zápis této notace například EW Notator [13]. Koncipován je jako poměrně jednoduchý textový/tabulkový editor pro zápis EWMN. Program nabízí připravený výchozí manuskript (Příloha 2) a všechny potřebné kombinace znaků a souřadnic v obecném tvaru. Hlavní přidanou hodnotou tohoto programu je možnost manuskript upravovat a uchovávat v elektronické podobě.

Podstatně zajímavější je projekt MVETest – beta verze vyvíjeného MovEngine [14], který na EW Notatoru staví. Stav implementace MovEngine shrnuje (Příloha 1). Pohyb zaznamenaný v EW Notatoru je možné do MovEngine importovat, zobrazit jako 3D animaci a dále jej upravovat, import souborů ale není nutný a pohybová data je možné vytvořit až v MovEngine. Program také umožňuje importovat jednu postavu v základní pozici, připraví tak manuskript pro vkládání dalších pohybů (Příloha 4). Ty se do manuskriptu vkládají jako bloky podle typu pohybu a jejich další atributy se nastavují v menu instrukcí. Nedodržuje se tedy přímo syntaxe EWMN a její znalost zřejmě není nezbytná. Software je velmi citlivý na korektnost syntaxe a správné nastavení, na případné nesrovnalosti bohužel nedokáže upozornit jinak než vyskakovacím oknem s číslem chyby. Tato informace je k opravě většinou zcela nedostačující.

Srovnání

Labanotation i EWMN vyžadují k plnému využití důkladnou znalost metodiky. Ta se v různých kurzech stále vyučuje a jde o poměrně dlouhý a intenzivní proces. V profesionálním kurzu Dance Notation Bureau je například studium Labanotation naplánováno na dva semestry [15]. Záznam pohybu z těchto notací je velmi abstraktní – u Labanotation je analýza pohybu bez využití technologie obtížná, u EWMN je vzhledem k podrobnějšímu dělení prostoru, sférickému souřadnicovému zápisu polohy a přechody mezi referenčními modely téměř nemožná. Každá z těchto notací také pracuje v jiném souřadném systému; Labanotation v absolutním vůči počátku, EWMN v relativním. Z pohledu syntaxe má Labanotation specifické grafické symboly, které sice usnadňují zápis i čtení notace, ale pro možné softwarové využití, kde je primárním vstupním zařízením obvykle klávesnice (popřípadě myš/touchpad), je lépe připravena převážně textová syntaxe EWMN.

Práci s těmito notacemi zjednodušuje samozřejmě praxe, ale především nejrůznější software. Možnost například vygenerovat z notačního záznamu také 3D postavu totiž představu o pohybu výrazně usnadňuje. EW Notator (Příloha 2) i LabanWriter (Příloha 6) jsou v zásadě jen notační programy, které mnoho přidané hodnoty nenabízejí. V případě EW Notatoru zápis příliš pohodlný není, neboť software nevyužívá možnosti textové notace (téměř všechny znaky je třeba zadat s pomocí myši/touchpadu). Důvodem této formy zápisu je možnost použít vyplněný manuskript jako vstupní data pro MovEngine, což je jeho hlavní výhodou EW Notatoru. Přestože je MovEngine stále ve vývoji, jeho ovládání není příliš intuitivní. K softwaru neexistuje ani uživatelský manuál, a tak je práce s ním poměrně obtížná. Jde ale o jeden z mála stále běžících projektů pracujících s taneční notací. LabanWriter dává k dispozici všechny potřebné znaky, zápis ale téměř neulehčuje. Zásadní nedostatek je v absenci nějakého základního manuskriptu, který by bylo možné případně upravit spíše než vytvářet od začátku. Na rozdíl od EW Notatoru už nelze manuskript dál využít k simulaci/animaci zaznamenaného pohybu, protože software, který k tomu byl určen, už není dále ke stažení. Takto pracné vytváření záznamu proto poněkud ztrácí smysl a praktické využití tohoto softwaru je proto velmi omezené. Volně dostupného softwaru, který by s těmito notacemi pracoval nebo práci s nimi dokonce zjednodušoval, je v současné době velmi málo.

II. Oblast počítačové animace

A. Animace z hlediska přístupů k reprezentaci pohybu

Klíčová 3D animace (keyframe based) je technika vycházející z tradiční 2D animace. Hlavní animátor nakreslil pouze podstatné (klíčové) pozice animace, což ale nestačilo k navození dojmu plynulého pohybu a vyplňující snímky (inbetween frames) mezi nimi tak dokresloval jeho asistent. Dnes jsou tyto vyplňující snímky vytvářeny v počítači interpolačním algoritmem [16]. Na tomto principu pracuje většina programů umožňujících vytvářet animace.

a) Software - DanceForms 2.01

DanceForms (původně pod názvem Life Forms) je volně dostupný animační software společnosti Credo Interactive [17]. Principiálně je založen na klíčové animaci. Software umožňuje umístit do prostředí jednu ze zjednodušených verzí postavy (např. stick figure, bounding boxes apod.) se kterou je možné dále manipulovat. Klíčové snímky jsou umísťovány na časovou osu, mezi nimi software interpoluje a další snímky doplňuje [18]. Úvodně je nastavena lineární, ale způsob interpolace je možné změnit. Pozice každé části těla může být upravena v okně „Studio“ změnou parametrů (x,y,z) nebo přímo tažením končetiny pomocí kurzoru. Pohyb je takto možné vytvořit od začátku nebo lze některý z již připravených pohybů importovat (např. chůzi) a následně upravit aby odpovídal požadovaným specifickým znakům (např. kulhání). V okně „OpenGL Render“ je možné vykreslit prostor a přehrát animační sekvenci postavy včetně textur (Program opět nabízí sadu již otexturovaných postav). Úpravy parametrů těla, stejně jako nanesení textur případně celé otexturované postavy je možné v okně „Model Editor“. Náhled prostředí je v příloze 3.

b) Software - Jack 8.0

Jack 8.0 je jeden z komerčních animačních softwarů, momentálně ve vlastnictví společnosti Siemens. Zkušební verze je však dostupná ke stažení. Jen uživatelský manuál má přes 200 stran, což jistým způsobem reflektuje možnosti tohoto programu [19]. Uživatelské prostředí je vidět v Příloze 5. Program v základu umožňuje vložit do prostředí otexturovanou mužskou nebo ženskou postavu, se kterou je možné dále manipulovat. Fyzické aspekty (výška, váha...) je možné upravit. S postavou je možné pohybovat v okně „Human Control“ různými způsoby, například výběrem končetiny/kloubu a úpravou parametrů (x,y,z) nebo volbou předdefinované pózy či

gesta (mezi nimi je možné interpolovat). Objekty jsou ukládány v hierarchické struktuře, kterou je možné zobrazit a manipulovat s nimi na této úrovni. Postava je zde rozdělena na dvě základní kategorie – klouby a segmenty – a dále se dělí podrobněji. Pro vytvoření pohybu/simulace je okno Task Simulation Builder (TSB), zde jsou kategorie pohybů (pro postavy i předměty), které je možné přidat. Vytvořený pohyb se přehraje a zanesou na časovou osu.

Animace nemusí být vytvořena přímo v Jack 8.0. K záznamu pohybu lze jako doplněk použít software Motion Capture Toolkit. Data z motion capture tak mohou být zaznamenána nebo vizualizována v Jack 8.0 v reálném čase a to včetně detailů jako jsou pohyby prstů [20] [19]. Software je mimo jiné připraven pracovat se senzorem Kinect (aktuálně pouze typ V1) od společnosti Microsoft [19]. K tomu je dále třeba vývojové prostředí pro odpovídající verzi zařízení Kinect. Tyto systémy se mi bohužel v domácím prostředí propojit nepodařilo.

Srovnání

Výhodou softwaru DanceForms 2.01 je volná dostupnost. Připravené soubory pohybů animaci výrazně zjednodušují, ale zahrnují pouze sadu vybraných pohybů např. z oblasti tance, sportu nebo chůze a běhu. Program nerespektuje limity lidského těla, záleží tedy převážně na animátorovi a jeho odhadu, zda bude výsledek působit věrohodně. Přestože program umožňuje také texturování postavy a dokonce přidání zvukové stopy, aby bylo možné vyrenderovat kompletní záznam, tyto funkce už jsou zpracované hůře. Nejlepší variantou je nahrát již otexturovaný model, ale i potom je kvalita animace spíše na úrovni informační než estetické. Celkově se s figurou manipuluje poměrně snadno a prostředí je s několika funkcemi poměrně přehledné a intuitivní.

Zásadní nevýhodou softwaru Jack 8.0 je, že jde o komerční software, čemuž ale odpovídají i jeho možnosti. Na rozdíl od DanceForms 2.01 má tento software lépe zpracované interakce objektů, nenastávají tedy situace, kdy končetina částečně prochází trupem apod. Za zmínku stojí také variabilita vstupních dat, především z motion capture a systému Kinect. Dalším rozdílem oproti DanceForms 2.01 je, že tento software neslouží pouze k manipulaci s postavou, ale i k vytváření prostředí a simulacím pohybu při interakci s dalšími objekty. Jack 8.0 tak nabízí širší spektrum možností simulace. Specializace na tanec zde ale samozřejmě chybí a tak i v přidané knihovně jsou

dostupné záznamy převážně praktických pohybů. V obou programech je možné upravit fyzické aspekty postavy. DanceForms 2.01 to řeší možností změnit velikost jednotlivých částí těla, můžeme tak vytvořit různé typy postav, ale pouze odhadem. Jack 8.0 umožňuje upravit tyto parametry nastavením výšky a váhy, tímto způsobem vytvořená postava má realističtější proporce.

Celkově je software Jack 8.0 jakožto komerční program zpracován výrazně lépe. Mnoho aspektů, kterými se DanceForms 2.01 nezabývá, jsou zde řešeny detailně, (např. nastavení pohybových limitů (constraints), cesty pohybu, úprava geometrie na úrovni 3D modeláře, možnosti vstupních dat aj.). Jack 8.0 má tak výrazně širší spektrum využitelnosti, jeho ovládání je ale o to obtížnější a prostředí je zpočátku nepřehledné. Prostor a ovládání můžeme porovnat, pokud jako cíl určíme jednotný výsledek např. rozpohybování postavy – konkrétně přimět postavu ujit několik kroků (za předpokladu předchozí neznalosti prostředí), v DanceForms 2.01 šlo o úkol v řádu minut, v Jack 8.0 už v řádu desítek minut. Zde je nutné zmínit, že i když DanceForms 2.01 nenabízí možnosti ani kvalitu komerčního softwaru, operace v něm jsou - právě i díky jednoduššímu prostředí – přehlednější a rychlejší. Pro některé účely tak může být naprosto dostačující nebo i vhodnější.

3. Návrhová část

I. Možnosti využití prozkoumaných metod popisu pohybu

Notace (Labanotation a EWMN) rozebírané v první části předchozí kapitoly se pohybují na mnohem nižší úrovni abstrakce než animační programy v části druhé - nahlížíme-li na ně z uživatelského hlediska. Při práci s notacemi formujeme každou část těla zvlášť v každé pozici pohybu - precizně skrze klouby, končetiny, souřadnice a transformace. V animačních programech naopak vidíme celou postavu, její pozice můžeme ovlivňovat téměř několika tahy a vytvořené pozice klíčových snímků propojit interpolací. Na úkor kontroly nad každou částí těla tak můžeme zaznamenat a navíc simulovat pohyb ve zlomku času oproti zápisu notací.

Pro myšlenku úpravy dat z motion capture ovšem ani jedna z výše zmíněných variant není dostačující. Potřebným řešením by mohlo být propojení popisných výhod notací s uživatelsky přívětivým ovládáním (nebo alespoň způsobem zobrazování) z animačních programů. Touto cestou se částečně vydává MovEngine.

Potenciál pro další využití a užší propojení s oblastí animace mají obě uvažované notace. Z hlediska abstrakce jsou obě na podobně nízké úrovni jako data z motion capture. Častěji je softwarová podpora navrhována na základě Labanotation. V práci [7] například autoři přímo navrhují postup využití Labanotation k úpravě dat z motion capture. Konkrétní způsob či samotnou smysluplnost dalšího využití notací a animačních programů (případně jejich propojení s motion capture) při záznamu pohybu je však třeba zhodnotit i v kontextu dalších parametrů - například uživatelských požadavků. Touto problematikou se budou zabývat následující kapitoly.

Další informační zdroje

Aby bylo možné lépe zhodnotit využitelnost zde rozebíraných popisných metod i z uživatelského hlediska, bylo v rámci detailnější přípravy absolvováno několik konzultací s choreografy a lidmi pohybujícími se v taneční oblasti. Podrobné informace o jejich práci umožnily přesnější zasazení poznatků z praktické části do kontextu potřeb a požadavků cílové skupiny. Také byly použity pro zohlednění uživatelských potřeb při návrhu optimálního způsobu popisu pohybu v dnešní době.

II. Teoretický rozbor problematiky

A. Využití notací v dnešní době

Notace zkoumané v této práci vznikly v době, kdy pro záznam pohybu nebyla k dispozici lepší technologie. Software, který s těmito notacemi pracuje (viz. Rešeršní část), jejich použití příliš neusnadňuje a o to markantněji se projevuje fakt, že zmíněné notace byly vytvořeny především k zápisu na papír podobně jako noty. Některé ze softwarových projektů, které se principy notací zabývaly, již byly ukončeny a nejsou nadále dostupné (LabanDancer) u jiných byl zastaven vývoj (MovEngine). Z absolvovaných konzultací také vyplývá, že povědomí o existenci natož použití notací je v tanečním oboru zanedbatelné. Vyvstává tedy otázka jak pohyb nejlépe zaznamenat dnes a zda jsou k tomuto účelu notace vůbec vhodné.

Je nutné zmínit, že některé dnešní technologie jsou oproti zápisu pomocí notací mnohem pohodlnější. Například kamera v mobilním telefonu umožní pořídit záznam pohybu ve zlomku času, který by byl potřeba k zapsání pomocí notace. A přestože kamera zachytí pouze 2D pohled, získané video může být pro choreografa informačně hodnotnější (především při záznamu jemné motoriky nebo mimiky). Technologie motion capture naproti tomu už není tak snadno použitelná ani běžně cenově dostupná. Existuje více principů, na základě kterých je mocap záznam pořizován, všechny ale vyžadují upevnění snímacího zařízení na zaznamenávanou osobu. Uplatnění je zde také omezené typem pohybu - pro jemnou motoriku či mimiku je tento způsob zcela nevhodný. Složitější použití vyvažuje fakt, že získaný záznam zachovává třetí rozměr. O pohybu tak lze uchovat maximum informací navíc zobrazitelných v podobě animace. [21]. Tato technologie má zjevné výhody pro archivaci, pro běžného uživatele je však příliš nákladná a snímací zařízení podstatně omezuje v pohybu. Záznam na papír zůstává i přes posun v technologiích velmi oblíbený. Pro choreografy však neexistuje důvod k používání unifikovaného zápisu (notací), jehož použití je časově i syntakticky náročné s nutností nastudovat příslušnou metodiku. Unifikované způsoby záznamu jsou pro choreografa značně omezující a nejsou kompenzovány žádnými podstatnými benefity. Uživatelsky pohodlnější alternativy (vlastní syntaxe, videozáznam) jsou běžně dostupné, notační zápisy proto v dnešní době zcela ztrácejí smysl.

Zároveň lze z absolvovaných rozhovorů říci, že se dramaticky liší požadavky na možnosti záznamu z hlediska různých profesí či přesněji specifikovaných cílových skupin. Určité nároky bude mít choreograf s takřka neomezeným přístupem k tanečnickům a nejrůznějším typům záznamové technologie (kamerové záznamy, motion capture, VR apod.), jiné bude mít choreograf malého studia a zcela odlišné bude mít například archivář. Tyto požadavky nejenže jsou velmi rozdílné, ale často se přímo vylučují.

Názorněji uvedenou problematiku ilustruje následující tabulka (Tabulka 1), která podrobněji specifikuje parametry tří odlišných person, sestavených na základě poznatků z konzultací. Z tabulky jsou patrné podstatné rozdíly napříč profesemi a společné znaky mezi choreografy. Tyto informace budou dále zohledněny.

Tabulka 1: Specifikace person v oblasti tance a archivace

	Persona 1	Persona 2	Persona 3
Povolání	Choreograf	Choreograf	Archivář
Povědomí o notacích	ne	Ano	Ano
Aktivní používání notací	Ne	Ne	Ne
Vlastní syntaxe záznamu	Ano	Ano	Ne
Dostupnost tanečnicků při tvorbě	Ne	Ano	X
Preferované médium pro tvorbu	Papír Video	Nic Papír Video	X
Preferované médium pro uložení	Video	Video	Mocap data
Důležitost pořízení záznamu	Ne	Ano	Ano
Dostupné technologie	Kamera	Kamera Mocap VR	Kamera Mocap data VR
Snaha o unifikaci	Ne	Ne	Ano
Hlavní požadavek na zápis	Rychlost používání	Rychlost používání	Přesnost výsledného záznamu
Místo tvorby choreografie	Doma	Na sále s tanečnický	X

B. Animační programy a uživatel

Uvažujeme-li o využití prvků animačních programů v oblasti choreografie a archivace, je třeba jejich vlastnosti zhodnotit stejně jako notace v předchozí části. Jak již bylo řečeno, animační programy mají oproti notacím jisté výhody. Na rozdíl od vyplňování notačních manuskriptů je vytvoření pohybové sekvence mnohem rychlejší a výsledek díky vizualizaci postavy velmi názorný a srozumitelný. Zde popisovaný 3D animační program Jack 8.0 či současné 3D modeláře (Blender [22], Maya [23] apod.) se k vytvoření animace i zobrazení a úpravě dat z motion capture již používají. Je však třeba vzít v potaz, že použití těchto programů je stále časově náročné a vyžaduje pokročilou znalost ovládání. Pro účel pouhého zobrazení dat z mocap můžeme zmíněné programy brát jako plnohodnotné řešení. Vytvoření či úprava dat tímto způsobem je však pro choreografa příliš komplikovaná, animační/modelovací SW totiž disponuje mnoha funkcemi, které jsou pro účely záznamu choreografie nadbytečné a pro uživatele matoucí. Výpočetní náročnost těchto programů také obvykle neumožňuje jejich použití na přenosné elektronice (mobilní telefon, tablet) a omezuje tak dobu a místo vytváření záznamu.

III. Teoretický návrh aplikace

Shrneme-li dosud získané poznatky, můžeme říci, že zakládat záznam pohybu primárně na použití notací by dnes již bylo zbytečné. Nelze předpokládat jejich znalost v cílové skupině a je třeba brát v úvahu základní uživatelské požadavky, které notace nesplňují (Tabulka 1). Běžně dostupný animační SW typu DanceForms 2.01 vzhledem k časové náročnosti a komplikovanosti ovládání také není příliš vhodný. Ze stejného důvodu bohužel nejsou vhodné ani 3D modeláře typu Blender, které by už automatickou konverzi pohybového záznamu do dat motion capture řešily. Tyto programy ovšem mají kvality, které je možné využít. Jedním z možných řešení otázky „záznamu pohybu v dnešní době“ je proto navržení softwaru zohledňujícího konkrétní požadavky v rozdílných oblastech choreografie a archivace. Zde je nutné zdůraznit, že choreograf nemá motivaci k využívání unifikovaných způsobů záznamu, které jej jakkoli omezují. Chceme-li získat nějaká data k archivaci, je třeba mu návrh maximálně přizpůsobit. Pro účely návrhu obdobného programu s respektem k individuálním potřebám bylo rozhraní a ovládání DanceForms 2.01 rovněž konzultováno s několika choreografy.

Z konzultací vplynuly základní uživatelské požadavky, které je třeba při návrhu propojit. Definovat je lze následovně:

1. Uživatel – Choreograf potřebuje znázornit pohyb bez nutnosti zachování záznamu způsobem, který jej při tvorbě nebude omezovat.
2. Uživatel – Archivář potřebuje dlouhodobě uchovat pohyb v unifikované podobě a nejvyšší možné informační hodnotě.

A. Cílová skupina

Pro podrobnější definici těchto požadavků je třeba blíže specifikovat cílovou skupinu. Tato problematika již byla nastíněna v předchozí kapitole. Jednou z možností je specifikace velmi úzké skupiny choreografů s širokými finančními i technologickými možnostmi (viz. persona 2). Při návrhu vhodného způsobu záznamu by v tomto případě bylo možné uvažovat o finančně výrazně náročnějších ale potenciálně slibnějších a uživatelsky přívětivějších technologiích jako je VR. Z archivačního pohledu by ovšem došlo k záznamu pouze zlomku dat (vzhledem k velikosti cílové skupiny). Druhou (dále rozpracovávanou) možností je proto mnohem širší specifikace cílové skupiny (viz. persona 1). Předpokládá uživatele neznalého tanečních notací, bez znalostí animace, s přístupem k běžně dostupné elektronice (smartphone, tablet, PC) a v ojedinělých případech k zařízení pro záznam motion capture. Takto rozšířená cílová skupina umožňuje zvažovat při návrhu především běžně dostupné technologie, nabízí však možnost zachování záznamů od mnohem širšího okruhu choreografů. Součástí cílové skupiny je v obou případech i archivář (viz. persona 3).

B. Uživatelské požadavky

1. Uživatel – Choreograf potřebuje znázornit pohyb bez nutnosti zachování záznamu způsobem, který jej při tvorbě nebude omezovat.
 - 1.1. Choreograf potřebuje zápisu choreografie věnovat minimální čas.
 - 1.2. Choreograf potřebuje zápis, který je intuitivní.
 - 1.3. Choreograf potřebuje zápis, který nevyžaduje studium jeho syntaxe.
 - 1.4. Choreograf potřebuje zápis, který jej nebude omezovat místem tvorby.
 - 1.5. Choreograf potřebuje mít možnost doplňovat k choreografii textové/znakové poznámky.
 - 1.6. Choreograf potřebuje pro různé účely zaznamenat různý detail pohybu.
 - 1.6.1. Potřebuje zaznamenat minimální detail (poznámky)

- 1.6.2. Potřebuje náhled pohybu (mapa pohybu, rozepsání pozic, videozáznam)
2. Uživatel – Archivář potřebuje dlouhodobě uchovat pohyb v unifikované podobě a nejvyšší možné informační hodnotě.
 - 2.1. Archivář potřebuje získat zápisy k archivaci.
 - 2.2. Archivář potřebuje od zápisů co nejvyšší detail pohybu.
 - 2.3. Archivář potřebuje zápis v unifikované syntaxi, protože potřebuje identifikovat co je obsahem zápisu.
 - 2.4. Archivář potřebuje získané zápisy přehledně archivovat.

C. Principy navrhovaného SW

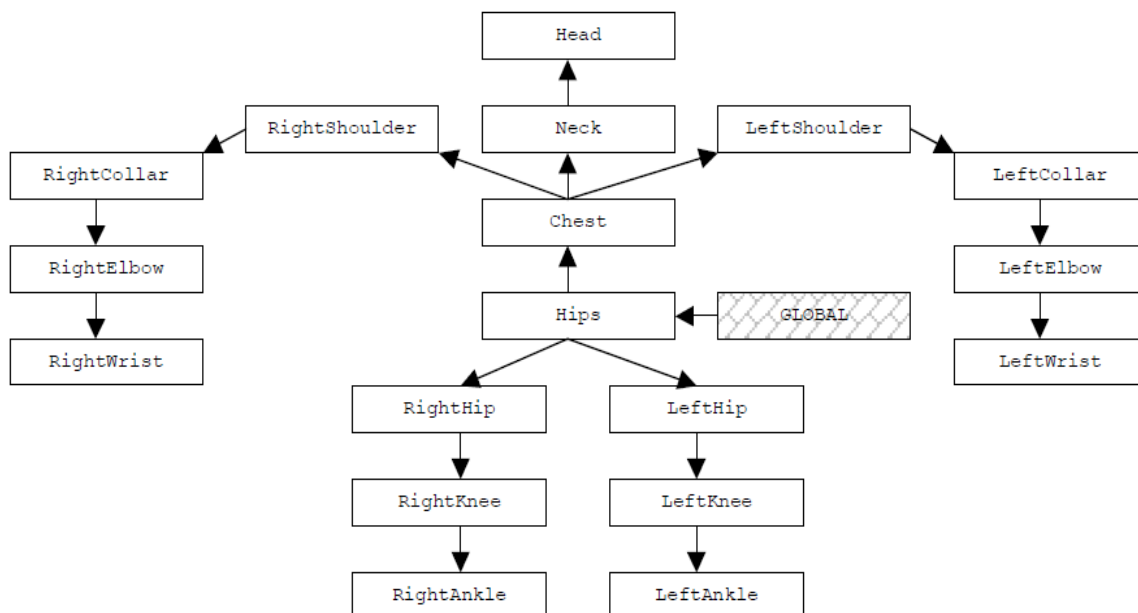
Navrhované softwarové řešení vychází z prozkoumaného DanceForms 2.01 a z obecných principů 3D modelovacích/animačních programů typu Blender. Pro účely návrhu choreografie je třeba rozhraní i ovládání výrazně zjednodušit. Pro většinu choreografů, kteří potřebují taneční sekvenci zaznamenat, nejsou podstatné přesné hodnoty pohybových transformací, nastavení specifických pohybových znaků či fyzických aspektů dle proporcí tanečníka, dokonce ani popis souřadného systému. Tyto prvky slouží animátorům a grafikům, pro choreografa jsou zcela zbytečné a dělají SW nepřehledným. Vzhledem k poznatkům z předchozích částí textu je podstatou navrhovaného softwaru maximální přizpůsobení aktuálním záznamovým zvykům choreografů – konkrétně zjednodušení obvyklých prvků 3D softwarů a zapracování pouze nezbytného minima funkcí, které jsou pro ně užitečné.

a) Drag and drop

Základní myšlenkou je vytváření záznamu skrze ukládání jednotlivých pozic (key frames) nastavováním kloubů 3D stick figure pomocí metody „drag and drop“. 3D stick figure je zde chápána pouze jako soubor kostí a kloubů. Tento způsob manipulace s postavou nabízí možnost ovládání nejen myší na PC, ale i stylusem popř. multitouch gesty na zařízeních Android. Poslední zmíněné varianty přístupu se přibližují aktuálně nejoblíbenějšímu zápisu pomocí tužky a papíru. Ovládání trojrozměrného objektu přes dvourozměrný viewport je potenciálně problematické, úroveň intuitivnosti tohoto přístupu proto silně závisí na kvalitě implementované kinematiky.

b) Vstupní/výstupní soubory

Vzhledem k potřebě konverze do motion capture navrhuji za vhodný typ vstupních i výstupních souborů pohybových záznamů přímo textové BVH (Biovision Hierarchy data) soubory nebo jejich ekvivalenty z oblasti motion capture. Tento typ souborů má jasně stanovenou strukturu (Obrázek 9) což, splňuje potřebu unifikace a odstraní se potřeba konverze mezi dvěma formáty. Pro uživatele, kteří mají vybavení pro motion capture k dispozici, navíc poskytne použití tohoto formátu další způsob záznamu pohybu. Bvh soubor má dvě základní části – definici hierarchie kostry a animační data. Definice hierarchie popisuje nastavení kostry tzv. T-pozici, animační data jsou zaznamenána pro každý snímek animace (frame) jako údaje o pozici a rotaci pro každý definovaný kloub [21]. Návrh také využívá toho, že počet kloubů není formátem bvh pevně stanovený, což umožňuje pracovat s různě složitými hierarchiemi.



Obrázek 9: Hierarchie kostry v souborech BVH [22]

c) Podoba stick figure

Přímé uložení formou dat z motion capture umožní použít definici hierarchie kostry v syntaxi bvh k vytvoření stick figure, kterou může uživatel dále editovat a výsledek opět uložit jako bvh. Součástí SW by proto mělo být několik bvh souborů s definicí hierarchie pro výběr z různě složitých stick figure podle aktuálních potřeb uživatele. Tyto hierarchie by měly být spíše základní a tvořit schematické kostry. Příliš

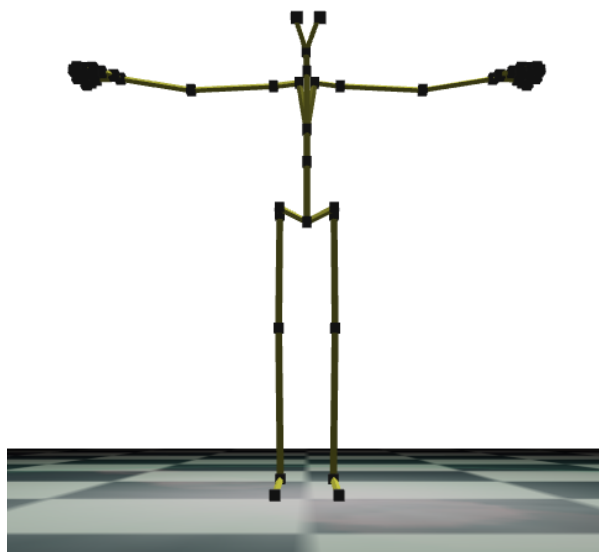
kloubů znesnadňuje manipulaci s modelem a pro účely návrhu choreografie je zjednodušená kostra plně dostačující. V některých případech by dokonce bylo praktické pouze triviální znázornění pomocí hierarchie s jedním nebo dvěma klouby, které stačí pro určení pozice v prostoru. Takto zjednodušený model je vhodný pro znázornění na mapě pohybu nebo pro představu o rozmístění osob v modelovacím okně. Z uživatelského hlediska je abstraktní model složený pouze z kostí a kloubů plnohodnotnou reprezentací postavy. Stick figures ve 2D totiž představují názorný způsob záznamu, který již choreografové na papíře používají. Vytvářet proto pro účely softwarového záznamu podrobnější nebo esteticky působivější model může být kontraproduktivní.

D. Grafický návrh prostředí

Požadované funkcionality softwaru vycházejí z rozboru záznamů a poznámek od různých choreografů. V těchto záznamech byly identifikovány shodné znaky, jejichž důležitost pro záznam byla s potenciálními uživateli dále konzultována a které umožnili určit zásadní funkce softwaru. Návrh předpokládá uložení záznamu o choreografii formou bvh pouze ze stick figure (tedy akce v modelovacím okně, popř.: mapě pohybu). Výstup dalších funkcí softwaru již z povahy dat tímto způsobem uložit nelze.

a) Modelovací okno

Pro detailnější záznam pohybu, tedy hrubé modelování pozic (key frames) je nezbytné okno s postavou. Tento prostor nejvíce odpovídá prostředí z 3D modelovacích softwarů. Obsahem by měla být základní stick figure generovaná do základní T-pozice z bvh souboru a podložka (Obrázek 10). Pro uživatele je podstatnou informací i prostorová náročnost více tanečníků a náhled současně prováděných figur. Software by proto měl umožnit paralelní úpravu více stick figures najednou. Vhodným rozšířením by bylo dát také uživateli možnost upravovat rozměry podložky a simulovat tak rozměry tanečního prostoru, který má k dispozici. Vzhledem k nutnosti udržení uživatelské jednoduchosti by však bylo nutné vypočítávat rozměry podložky vzhledem k rozměrům stick figure a umožnit zadávat vstupní parametry této funkce například v metrech.



Obrázek 10: Náhled modelovacího okna – stick figure v T-pozici

Vzhledem k mnoha rozdílným druhům tance není možné pořádkem knihovnu všech možných pohybů a odstínit tak nutnost stick figure upravovat. Navrhovaný software by však bylo vhodné doplnit alespoň základní knihovnou pohybů. Uživatel by se tak nemusel pokoušet o modelování chůze, výskoků nebo jasně definovaných figur z klasického baletu případně společenského tance.

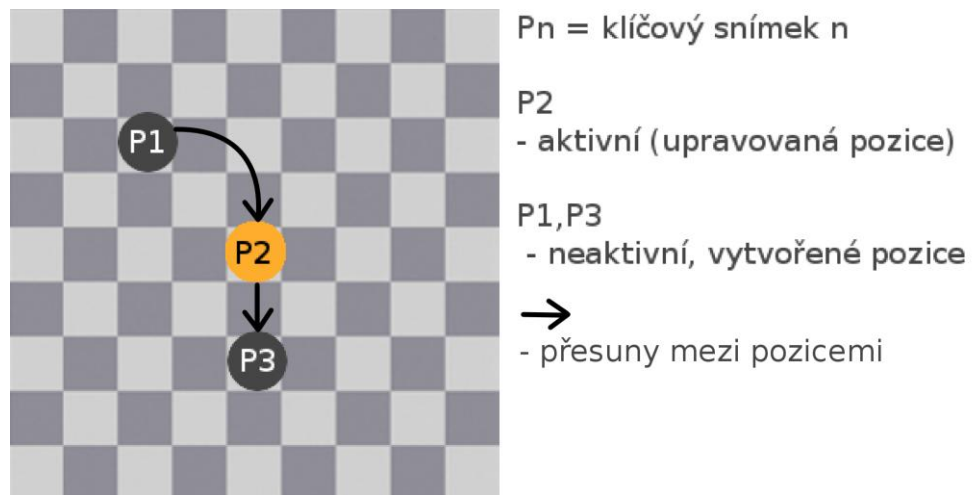
b) Mapa pohybu

Podobně důležité jako nastavení pozice na stick figure je návrh jejího umístění v prostoru. To lze s již nastavenými figurami samozřejmě kombinovat, nemělo by to ale být nezbytné. K tomuto účelu slouží okno mapy pohybu³. Možnost rozplánovat posuny po scéně bez jakýchkoli úprav stick figures je pro účely prvotního návrhu choreografie nesmírně cenná funkce. Z grafického pohledu se jedná o 2D pohled shora (top view) na scénu. Přesun po scéně není reprezentován přesunem stick figure v čase, ale vložení nové pro každou klíčovou pozici. Tato funkcionality tak umožňuje zobrazit prostřednictvím příslušného počtu stick figures⁴ všechny klíčové snímky najednou. Mapu pohybu lze použít dvěma hlavními způsoby – pro rozplánování pohybu jediného

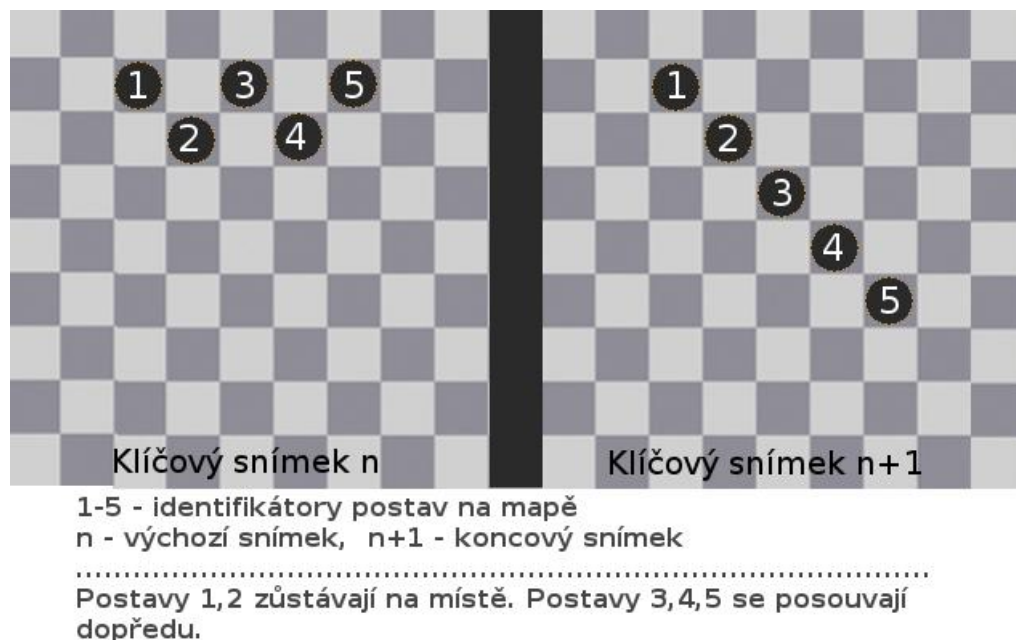
³ Mapou pohybu zde rozumíme scénu v pohledu shora (tedy 2D), ve které jsou zobrazeny všechny klíčové snímky najednou. Každý klíčový snímek je na mapě představován samostatnou postavou. Tato mapa slouží pro zaznamenání cesty pohybu tanečníka po prostoru.

⁴ K tomuto účelu je s ohledem na výpočetní náročnost vhodná degradovaná hierarchie s použitím minima kloubů.

tanečníka a celé skupiny. V případě jednoho tanečníka lze vykreslovat, nejen aktuální ale všechny klíčové snímky najednou (Obrázek 11). Pro zaznamenání skupiny je vykreslování všech snímků najednou výpočetně náročnější a uživatelsky matoucí - praktičtější je využít tuto funkci čistě k zaznamenání změn v tanečních formacích. Software by tedy měl uživateli umožňovat zacházet se skupinou jako s jednotlivcem a reprezentovat klíčový snímek i množinou stick figures (Obrázek 12).



Obrázek 11: Návrh mapy pohybu pro záznam jedné postavy



Obrázek 12: Návrh mapy pohybu pro záznam skupiny

Důležitá je zde také možnost doplnit textové poznámky jak k samotným klíčovým pozicím, tak k přechodům mezi nimi. To je podstatné zejména v případě, kdy je tvorba mapy pohybu úvodním krokem při záznamu choreografie nebo kdy uživatel nehodlá využít modelovací okno a mapa pohybu se tak stává nejpodrobnějším vytvořeným záznamem. Pro uložení mapy pohybu již musíme vzhledem k potřebě ukládat i doplňující informace zvolit jiný formát než bvh nebo je ukládat zvlášť.

c) Časová/poznámková osa

Obě výše zmíněné funkce vyžadují v uživatelském rozhraní časovou osu, ale není zde třeba přesného časování. Máme několik způsobů, jak tuto funkci zjednodušeně pojmut. Jednou z možností je držet se obvyklého modelu a vkládat klíčové snímky na konkrétní časové hodnoty na ose. Choreograf obvykle nemá představu o přesné době trvání pohybu a zcela jistě nebude vytvořený záznam procházet a klíčové snímky přesněji časovat. Vhodnou obměnou by zde byla časová osa s jednotkami používanými v taneční oblasti – tedy osminy a šestnáctiny. Tyto časové jednotky jsou svorně používány napříč tanečními styly. Další alternativou je postupné nanášení klíčových snímků na osu formou intervalů s přednastavenou délkou. Interval je zde nutný pro animační náhled choreografie, protože tímto způsobem nanášíme na osu klíčové pozice i čas nutný k interpolaci do pozice následující. Vizually je tento způsob snáze uchopitelný, protože lze ovládat pouhou změnou šířky snímku na ose.

Poznámková osa by měla vymezovat prostor rozdělený mezi klíčové snímky. Účelem je dát uživateli prostor k doplnění informací o choreografii formou, kterou navrhovaný SW z jakéhokoli důvodu nedokáže postihnout. V této sekci softwaru by proto mělo být uživateli umožněno přidávat k jednotlivým klíčovým snímkům textové poznámky a importovat další typy souborů jako fotografie, zvukové záznamy, naskenované dokumenty a videa. Tyto typy souborů jsou při tvorbě choreografie rovněž často využívány. Fotografie mohou přinést představu o tanečním prostoru, kulisách, dekoracích nebo kostýmech. Zvuk může být použit pro účely časování a rovněž dokreslení představy o konkrétní choreografii. Videozáznam bývá obvyklým zdrojem inspirace pro další tvorbu a pro autora také ceněným archivovaným souborem. Emoční rovině těchto silně personalizovaných typů souborů nelze anonymním softwarem konkurovat. Ač jde funkce poznámkové osy zcela proti myšlence unifikace, je nezbytná k překlenutí období pro přechod od papíru a videozáznamů ke komplexnějším řešením.

4. Implementace

Na základě návrhu z předchozí kapitoly práce byl zpracován prototyp nejdůležitější části softwaru – „modelovací okno“ pro pohyb s 3D stick figure generované z bvh souboru. Software byl implementován jako realtime OpenGL aplikace pro Windows. Tento program nemá ambice aspirovat na plnohodnotné řešení, slouží pouze pro představu o možnostech a obtížnosti interakce se stick figure navrženým způsobem. Z tohoto důvodu také nemělo smysl provádět uživatelské testy. Pro vývoj a testování byla použita bvh data získaná z databáze pohybů Carnegie Mellon University [23] a data vytvořená v IIM FEL ČVUT.

I. Načítání BVH

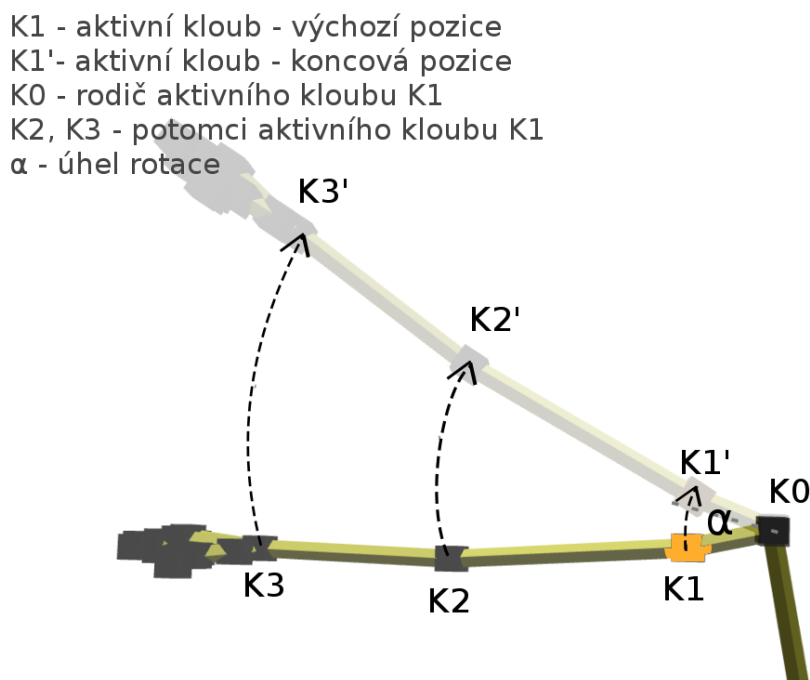
V programu je implementováno načítání dat z bvh souborů. Ty poskytují informaci o počtu kloubů a jejich uspořádání v T-pozici. Pokud soubor obsahuje animační data, jsou načtena i ta. Protože T-pozice není v bvh souboru uložena v absolutních jednotkách, záleží tedy na softwaru, aby určil adekvátní výšku kostry. Prototyp upravuje výšku postavy, aby po prvním načtení byla přizpůsobena viewportu.

II. Klouby

Středobodem implementace jsou klouby propojené do stromové struktury. Kloub tak, jak je zde chápán, nutně nepopisuje kloub dle anatomické definice, ale i pomocný bod v rámci hierarchie, jehož pozice lze zaznamenávat a měnit. Klouby v průběhu animace mohou měnit vzájemnou polohu, ale vzdálenost mezi rodičem a potomkem se nemění. Délka kostí tedy zůstává konstantní, na čemž jsou založeny i principy ovládní. Kostí neexistují na úrovni implementace, pouze při vykreslení jako spojnice dvou kloubů.

Kloub si udržuje matici transformací, která popisuje jeho polohu a orientaci v prostoru. Načtení T-pozice určí počáteční polohu kloubů, dále už se jejich poloha mění pouze rotacemi vůči přímému případně nepřímému rodiči.

Klouby v programu umožňují rotaci do všech směrů a manipulace s nimi probíhá způsobem „drag and drop“. Vybraný kloub se pohybuje v prostoru po povrchu koule se středem v rodičovském kloubu. Pokud má ovládaný kloub potomky, kolem jeho rodiče rotuje i celý strom jeho potomků (Obrázek 13).



Obrázek 13: Rotace vybraného kloubu

Při manipulaci s kloubem známe jeho výchozí pozici. Koncovou pozici je třeba dopočítat z pozice kurzoru a nutnosti ovládaného kloubu zůstat na sférické ploše. Protože je pohyb od výchozí do koncové pozice prováděn rotací, je vypočítána osa a úhel rotace. Uživatelem provedené změny (rotace) je třeba uložit pro každý kloub a každý snímek. Tím vzniká nový bvh soubor s vytvořenou animací.

III. Práce do budoucna

Implementovaný prototyp slouží pouze pro ověření navrženého způsobu záznamu, k čemuž je plně dostačující. Ukázky výsledků práce s programem jsou vidět v příloze 7. Pro vytvoření plnohodnotné verze aplikace by bylo třeba některé stávající funkce upravit a některé doplnit. Aktuální verze programu ukládá změny aplikované na T-pozici a dále je propaguje v animaci. Změny provedené na jednotlivých snímcích se však při přechodu mezi snímky zahazují. Tyto změny by bylo vhodné ukládat. Program také v současnosti neumožňuje uložení klíčových snímků a vytvoření nového bvh souboru. Pro vytvoření uživatelsky použitelné verze by bylo třeba implementovat i další výše zmíněné funkce jako mapu pohybu a časovou či pohybovou osu.

5. Diskuze

V této práci bylo probráno několik tanečních notací a animačních softwarů. Byl posouzen jejich přínos pro záznam pohybu z hlediska různých profesí. Hlavní důraz byl věnován exaktnějším notacím (EWMN, Labanotation), které mají potenciál k propojení s motion capture, ale byly vyhodnoceny jako uživatelsky nepřístupné. Naopak uživatelsky přívětivější notace (Benesh Notation, Sutton Movement Writting), kterými se tato práce zabývá pouze okrajově, se ukázaly být nevhodné k propojení s motion capture. Jejich názorná syntaxe by však mohla být užitečná pro vytvoření čistě notačního softwaru.

Notační záznamy jsou pro choreografy omezující a alternativní způsoby záznamu pohybu mohou být zároveň přesnější, rychlejší i jednodušší pro použití. Je proto obtížné argumentovat pro jejich použití v době dostupnosti elektroniky. Složitost použití se bohužel týká i dostupných animačních programů a jejich využití v rámci návrhu choreografií je proto minimální. Tato zjištění mohla být zkreslena počtem či výběrem choreografů pro konzultace. Na základě vlastního testování jednotlivých metod však nejsou tyto výsledky překvapující.

I proto návrh aplikace předpokládá maximální zjednodušení uživatelského rozhraní a zachovává trojrozměrný pohyb v požadovaném detailu. Jakkoli je návrh přizpůsobený konkrétním požadavkům, stále choreografa způsobem ovládání omezuje. Dalším potenciálně slibným přístupem by proto mohlo být využití VR technologie, která by uživateli umožnila například vstoupit přímo do modelovacího prostoru a vytvořit dojem přímé manipulace s postavou. Tato varianta je však cenově méně dostupná.

Někteří choreografové v tomto směru vyjádřili přání ohledně snímání 3D záznamu za použití mobilního telefonu. Tato technologie aktuálně není dostupná ve spotřební elektronice, z pohledu uživatele by se však jednalo o ideální řešení. Tento informačně hodnotnější videozáznam by totiž choreografa téměř neomezoval stejně jako - dnes oblíbené - pořízení běžného videozáznamu. Touto technologií se autoři zabývali již v roce 1999 například v této práci [23].

6. Závěr

Tato práce se věnovala hledání současného způsobu záznamu pohybu vhodného pro ruční i elektronické zpracování. Prvním cílem bylo prozkoumání a zhodnocení existujících způsobů záznamu pohybu. Bylo srovnáno několik notací slibných pro elektronické zpracování. V kontextu dostupnosti efektivnějších technologických řešení je však lze považovat za slepé vývojové větve. Zkoumané animační programy jsou sice pro záznam pohybu v dnešní době určeny, na uživatele ovšem kladou značné nároky. To se ukazuje jako jeden z důvodů, proč nejsou tyto programy choreografy v současné době ve větší míře využívány. Druhým cílem bylo zhodnotit dostupné metody vzhledem k dnes dostupným technologiím a požadavkům v taneční oblasti. Ze získaných poznatků lze říci, že choreograf nemá důvod používat způsoby záznamu, které jej v práci omezují. Jakékoli navržené řešení by tedy mělo být maximálně přizpůsobeno uživateli. Třetím cílem bylo navržení způsobu záznamu, který uživatelské potřeby zohledňuje. V návrhové části byl nastíněn jeden z možných směrů, kterými by se vývoj takového záznamu mohl ubírat. Návrh byl doplněn o implementaci prototypu. Kinematika použitá v prototypu navrhovaného SW je založená čistě na rotacích a vychází ze stejných principů jako notace EWMN. Propojení se v tomto případě samo nabízí. Ačkoli se využití notací ukázalo být pro záznam pohybu zcela nevyužitelné, mohlo by být praktické v oboru archivnictví pro konverzi již existujících EWMN manuskriptů do bvh. Využití aplikace na principech tohoto prototypu lze potenciálně nalézt i v dalších oblastech pohybu. Vezmeme-li v potaz rozšíření dostupnosti zařízení pro motion capture, propojení s tímto SW by díky snadné manipulaci se záznamem umožnilo zpětnou diagnostiku pohybu v lékařství, vrcholovém sportu apod.

Závěrem můžeme konstatovat, že celá problematika záznamu a archivace pohybu v taneční oblasti je poměrně komplikovaná a tato práce zkoumá pouze jeden z možných přístupů.

Použitá literatura

- [1] A. Hutchinson Guest, *Labanotation: The System of Analyzing and Recording Movement*, Taylor & Francis Group, 1987.
- [2] V. Sutton, *Dance Writing Shorthand For Classical Ballet*, The Sutton Movement Writing Press, 1981.
- [3] The Benesh Institute;, „Royal Academy of Dance,“ [Online]. Available: <https://www.rad.org.uk/study/Benesh/how-benesh-movement-notation-works>. [Přístup získán 29 5 2017].
- [4] „Eshkol - Wachman Movement Notation Center,“ [Online]. Available: http://www.ewmncenter.com/site/detail/detail/detailDetail.asp?detail_id=1712281&depart_id=133376. [Přístup získán 29 5 2017].
- [5] L. Wilke, T. Calvert a R. Ryman, „From Dance Notation To Human Animation: The Laban Dancer Project,“ John Wiley & Sons, Ltd., 2005.
- [6] „MovementWritingSite,“ [Online]. Available: <http://www.movementwriting.org/>. [Přístup získán 1 6 2017].
- [7] X. Shen, L. Qilei, Y. Tao a G. Weidong, „Mocap data editing via movement notations,“ v *Computer Aided Design and Computer Graphics, 2005. Ninth* , 2005.
- [8] T. Calvert a J. Chapman, „Notation of Movement with Computer Assistance,“ v *ACM Annual Conference, Washington, DC, USA, 1978*.
- [9] „Department of Dance,“ Ohio State Department of Dance, [Online]. Available: <https://dance.osu.edu/research/dnb/labam-writer>. [Přístup získán 18 5 2017].
- [10] „Department of Dance: Laban Reader,“ [Online]. Available: <https://dance.osu.edu/research/dnb/labam-reader>. [Přístup získán 27 5 2017].
- [11] N. Eshkol a J. Harries, „EW MOVEMENT NOTATION: THE SYSTEM OF REFERENCE,“ [Online]. Available: <http://noaeshkol.org/wp-content/uploads/2016/11/The-System-of-Reference.pdf>. [Přístup získán 19 5 2017].
- [12] N. Eshkol a J. Harries, „EW MOVEMENT NOTATION: SIMULTANEOUS MOVEMENT AND SPACE CHORDS,“ [Online]. Available: <http://noaeshkol.org/wp-content/uploads/2016/11/Symultaneous-Movement-and-Space-Chords.pdf>. [Přístup získán 19 5 2017].

- [13] H. Drewes, „Movement and Notation,“ [Online]. Available: <http://www.movement-notation.org/index.php/en/software-en/ew-notator-en>. [Přístup získán 18 5 2017].
- [14] H. Drewes, „Movement and Notation: Visualizing Dance Archives,“ [Online]. Available: <http://movement-notation.org/VisualizingArchives/download.html>. [Přístup získán 18 5 2017].
- [15] „Dance Notation Bureau - How to become a professional notator,“ [Online]. Available: <http://dancenotation.org/studying/professional.html#notator>. [Přístup získán 27 5 2017].
- [16] N. I. Badler a S. W. Smoliar, „Digital Representation of Human Movement,“ 1979.
- [17] „Credo Interactive,“ [Online]. Available: <http://charactermotion.com/df-download.html>. [Přístup získán 19 5 2017].
- [18] J.-P. Laummond a N. Abe, „Dance Notations and Robot Motions,“ v *Dance Notations and Robot Motions*, 2016.
- [19] *JACK USER MANUAL VERSION 8.0.1*, Siemens PLM Software, 2013.
- [20] Tecnomatix, „Siemens Tecnomatix: Motion Capture Toolkit for Tecnomatix human Applications,“ [Online]. Available: https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/17523_tcm1023-83547.pdf. [Přístup získán 20 5 2017].
- [21] M. Merredith a S. Maddock, „Motion Capture File Formats Explained,“ Department of Computer Science, University of Sheffield, Sheffield, 2001.
- [22] Blender Foundation, „Blender,“ [Online]. Available: <https://www.blender.org/>. [Přístup získán 19 5 2018].
- [23] Autodesk, „Autodesk,“ [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/maya/overview>. [Přístup získán 19 5 2018].
- [24] Carnegie Mellon University, „Carnegie Mellon University Motion Capture Database,“ [Online]. Available: <https://sites.google.com/a/cgspeed.com/cgspeed/motion-capture/daz-friendly-release>. [Přístup získán 15 3 2018].
- [25] N. R. Howe, M. E. Leventon a W. T. Freeman, „Bayesian reconstruction of 3D human motion from single-camera video,“ MIT Press, Cambridge, 1999.

Seznam používaných zkratek

EWMN – Eshkol-Wachman Movement Notation

Benesh MN – Benesh Movement Notation

Sutton MW – Sutton Movement Writing

OS – operační systém

2D – dvojrozměrné

3D – trojrozměrné

SW – software

Motion capture – Mocap

VR – virtuální realita

IIM – Institut Intermédií

FEL – Fakulta elektrotechnická

ČVUT – České vysoké učení technické v Praze

Bvh – Biovision Hierarchy data

PC – osobní počítač

OpenGL – Open Graphic Library

MS - Microsoft

Seznam příloh

Příloha 1: Status MVETest implementace

Příloha 2: EW Notator

Příloha 3: DanceForms 2.01

Příloha 4: MovEngine

Příloha 5: Jack 8.0

Příloha 6: LabanWriter

Příloha 7: Ukázky výsledků práce

Příloha 8: Obsah přiloženého DVD

Přílohy

Příloha 1: Status MVETest implementace

Implementation Status

MovEngine

Animation of one actor	working
Animation of multiple actors	not implemented
Interaction between actors	not implemented
Positions	working
Rotated States	working
Floor contacts	partially implemented
Front	partially implemented
Paired contacts and opposition	not implemented
Axis positions	partially implemented
Absolute and bodywise coordinate systems	working
Plane movement	working
Conical movement	working
Rotational movement	working
Weight shifting	not implemented

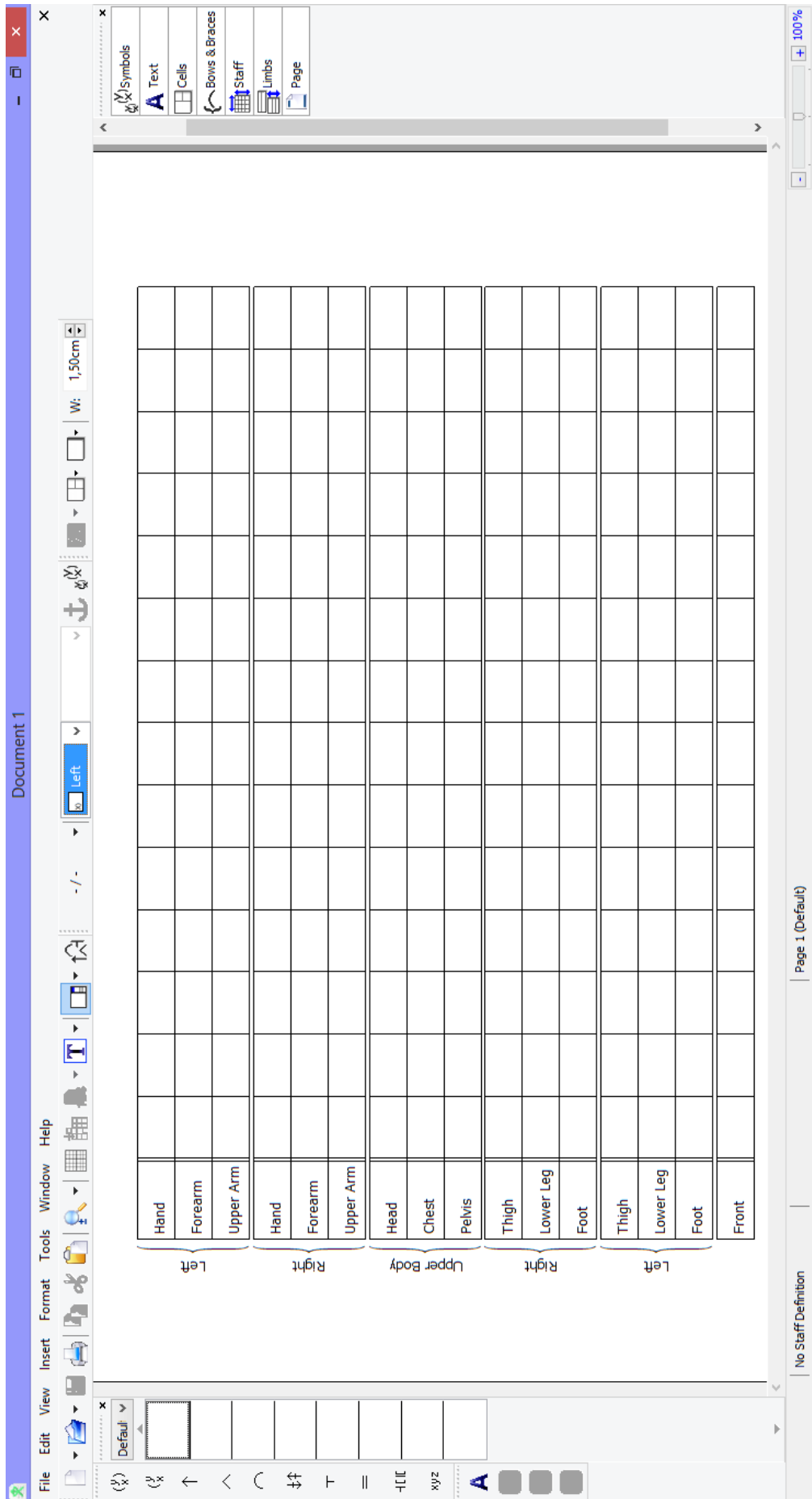
Test Application

Loading and saving of single actor animations	working
Import of positional EW Notator data	working
Import of movement EW Notator data	not implemented
Creating movement instructions	working
Editing movement instructions	partially implemented
Global editing of timing properties	working
running animations	working
changing camera positions	working
adjusting speed of animations	working
recording of video files	working

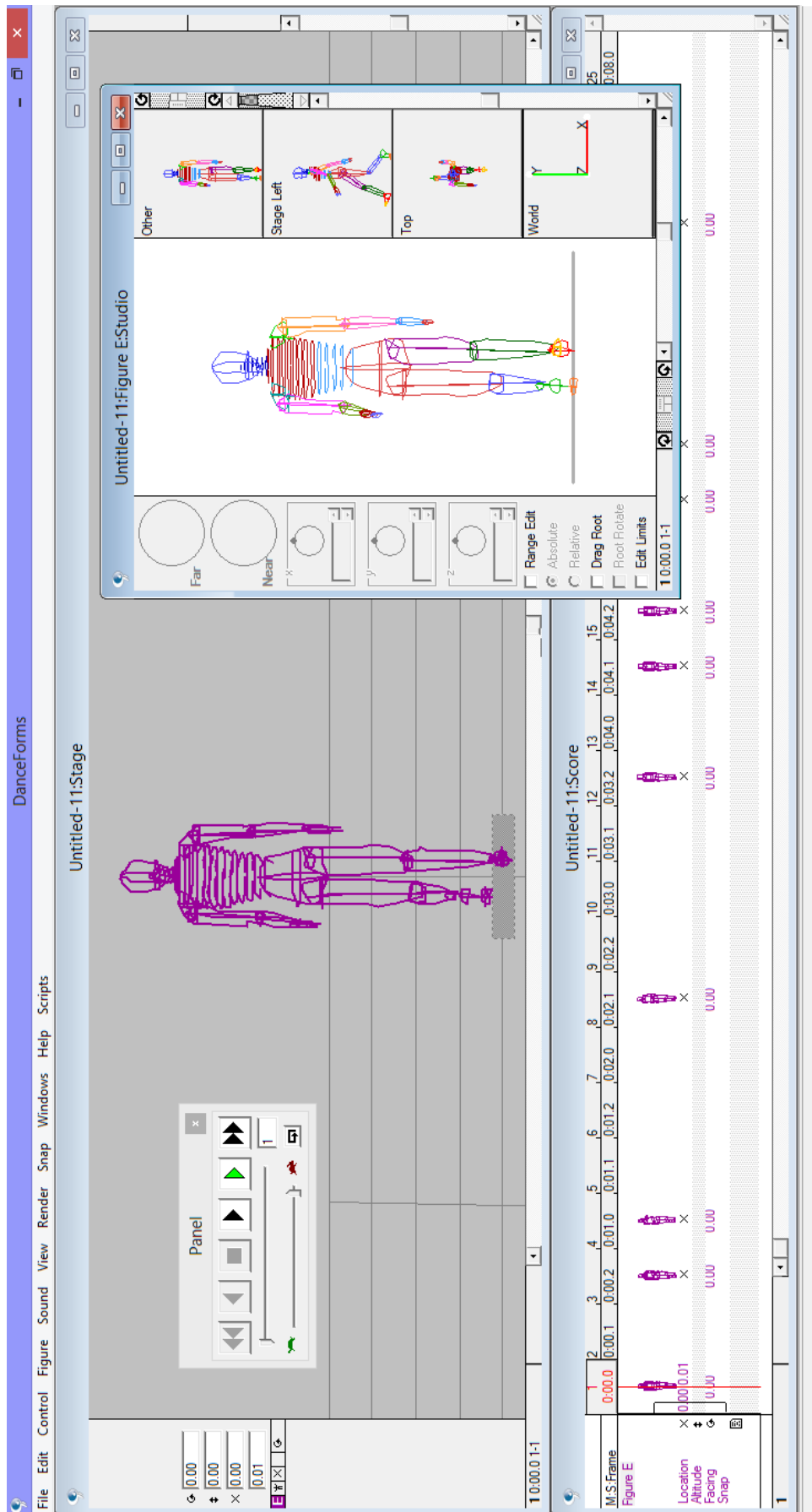
EW Import

Import of positional EW Notator data	working
Import of movement EW Notator data	not implemented

Příloha 2: EW Notator



Příloha 3: DanceForms 2.01



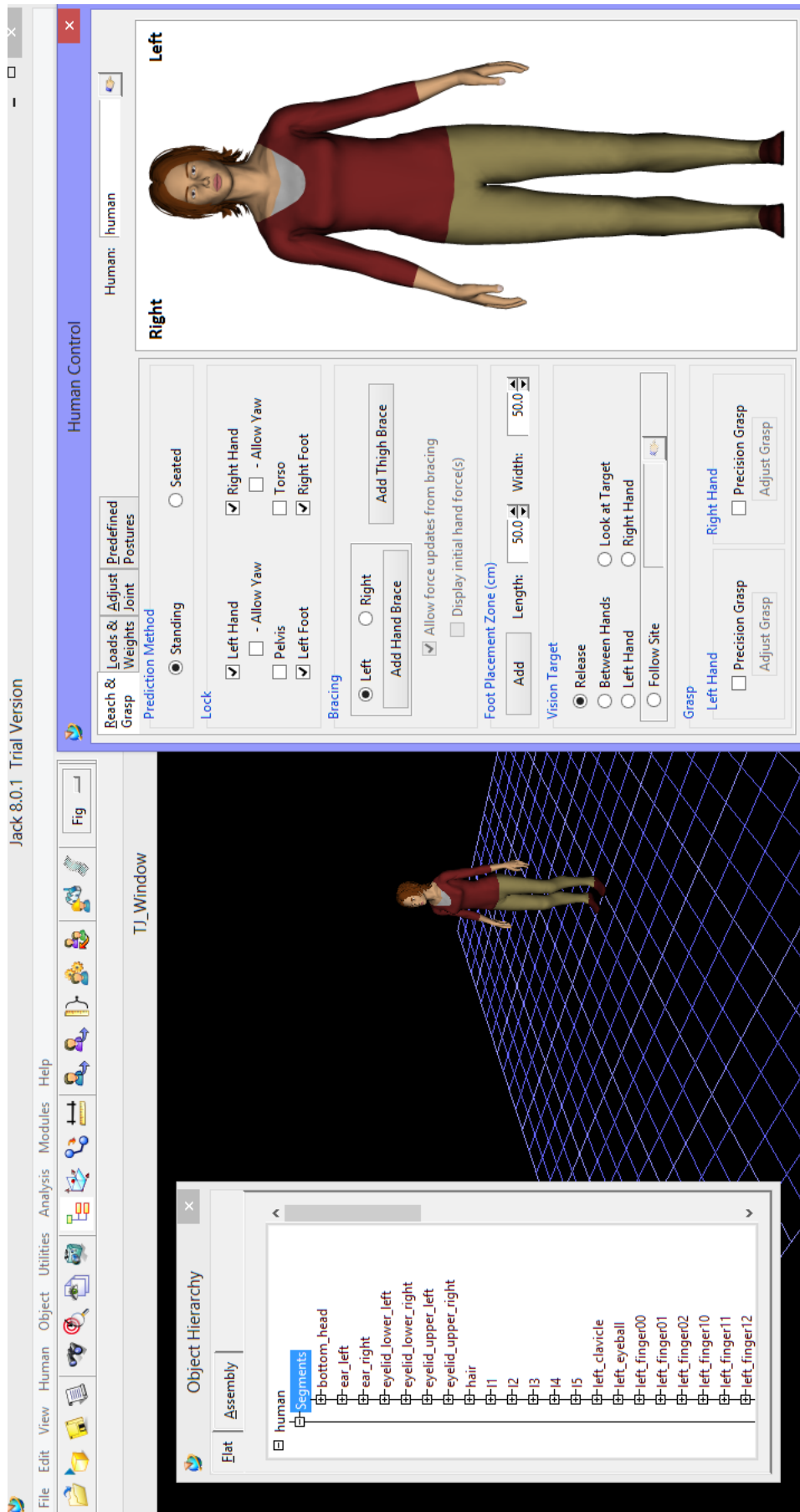
Příloha 4: MovEngine

The screenshot displays the MovEngine software interface, which is used for motion capture and animation. The interface is divided into several main sections:

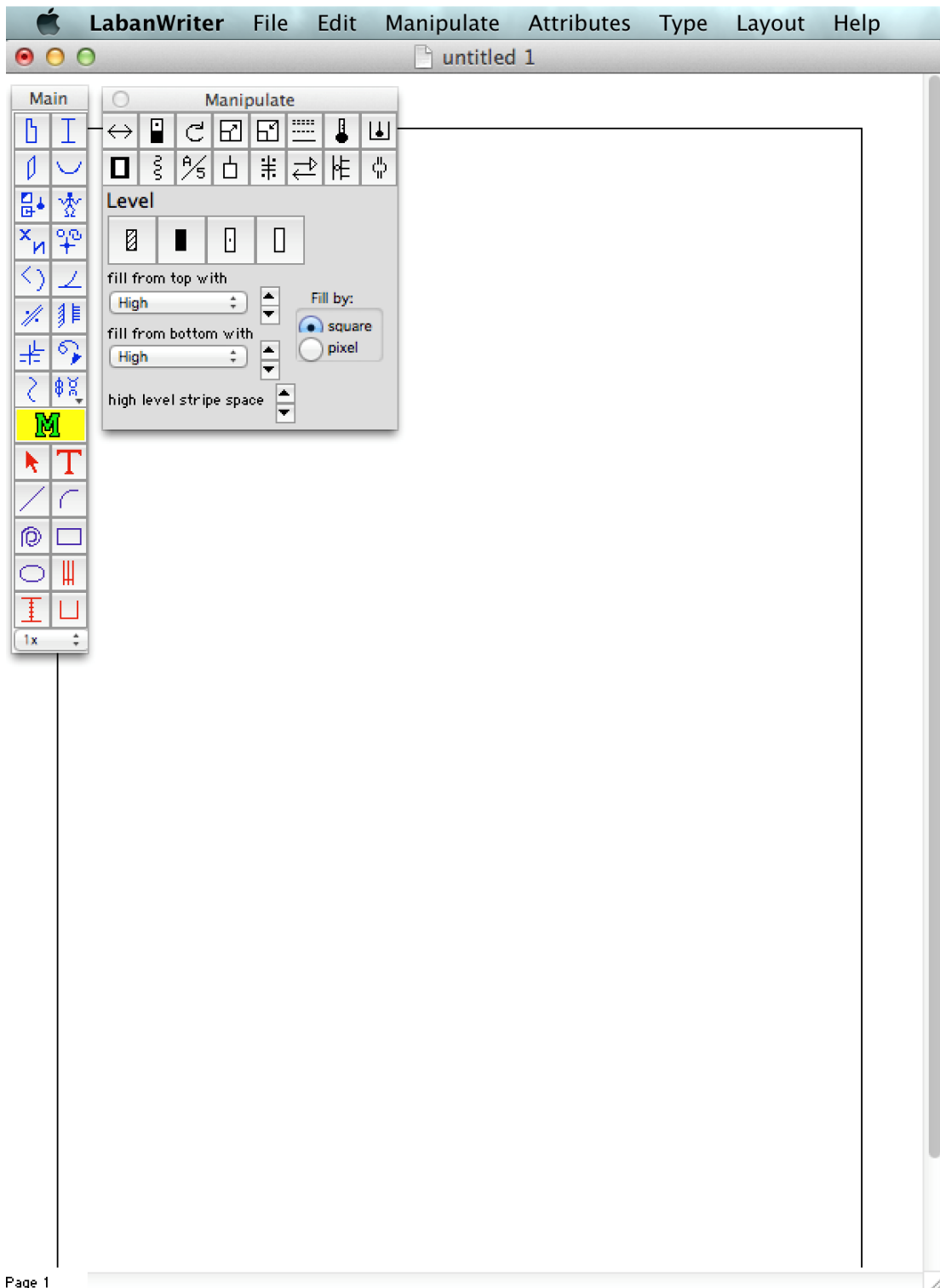
- Top Panel:** Contains a menu bar (File, View, Tools, Help) and a toolbar with buttons for Start, Stop, View Skeleton, View Grid, View Axes, and View Material. It also includes a slider for Animation speed and a Time Offset field set to 0.000.
- Timeline:** A horizontal axis at the top of the central area, ranging from 0 to 800. It features buttons for Apply, Cancel, and Refresh. Below the axis is a list of bone names with corresponding 'ew...' labels, such as LHand, LForea, LUpper, RHand, RForea, RUpper, Head, Neck, Chest, LowerC, Pelvis, RThigh, and RLower.
- 3D Viewport:** A central window showing a 3D model of a human character in a black suit, standing on a grid floor. The character's skeleton is visible, with red and blue markers on the joints. Navigation buttons for 'Side by Side' and 'Score' are located at the bottom of the viewport.
- Debug Console:** A panel on the right side of the interface. It includes buttons for Read, Apply, Save Grid, Load Grid, and Clear. A 'Use time' field is set to 0.000. Below these are several tabs: Collider, Bone Rules, Names, Bodywise Mode, Root & Junctions, Axis Modes, Instructions, Positions, Angle Axis, Ew/Angles, GlobalMatrix Rot, GlobalMatrix Transl, and IKAN test. The 'Positions' tab is active, displaying a table of joint positions.

Positions	Angle Axis	Ew/Angles	GlobalMatrix Rot	GlobalMatrix Transl	IKAN test
Pelvis	-0.02	30.72	-1.83		
RThigh	-3.17	0.04	0.17		
LThigh	3.12	0.09	0.16		
LLowerLeg	-0.57	-15.26	0.21		
LFoot	0.09	-13.15	0.01		
LArch	0.00	-1.12	1.57		
LToe	0.00	0.00	0.00		

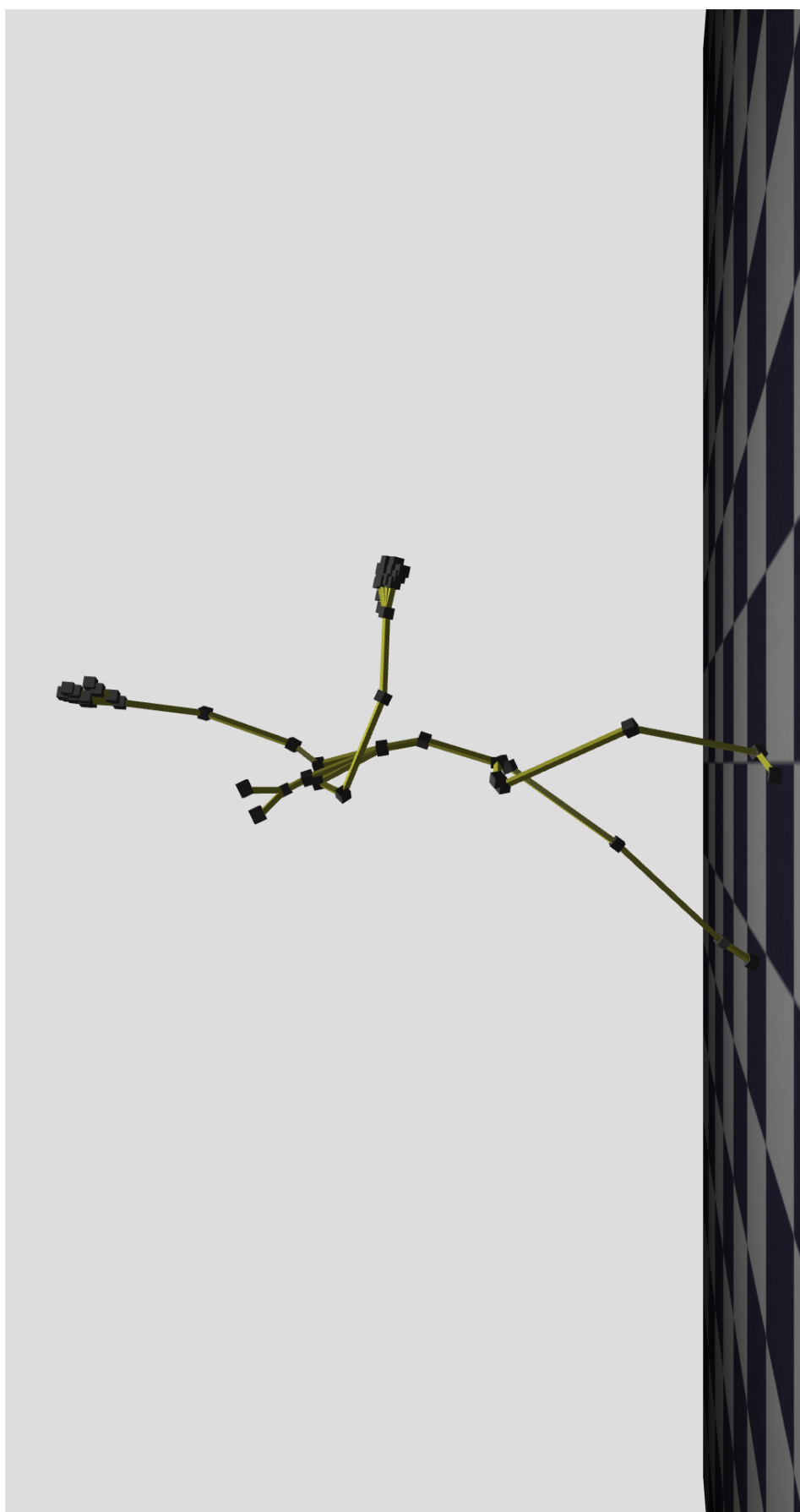
Příloha 5: Jack 8.0

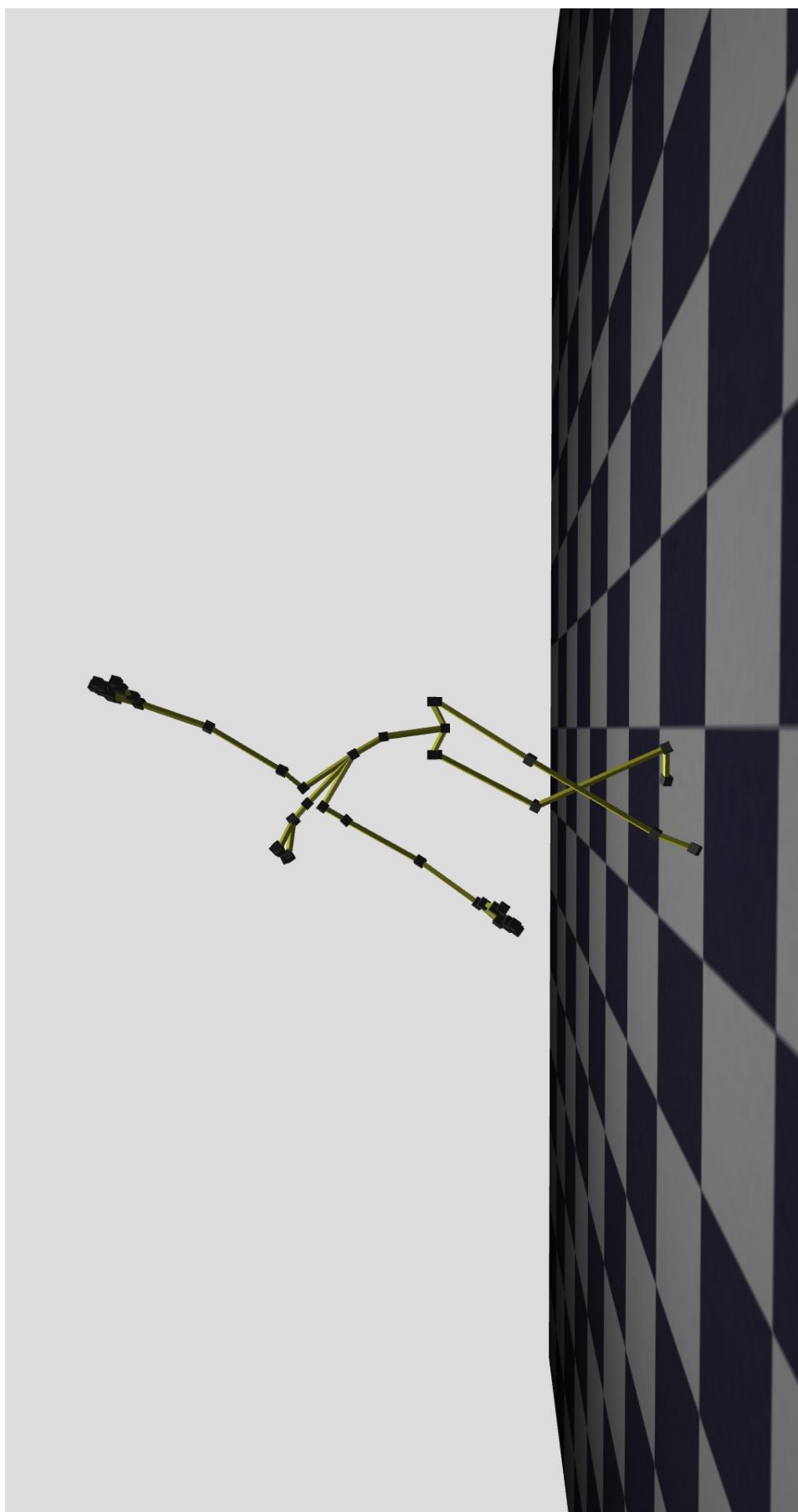


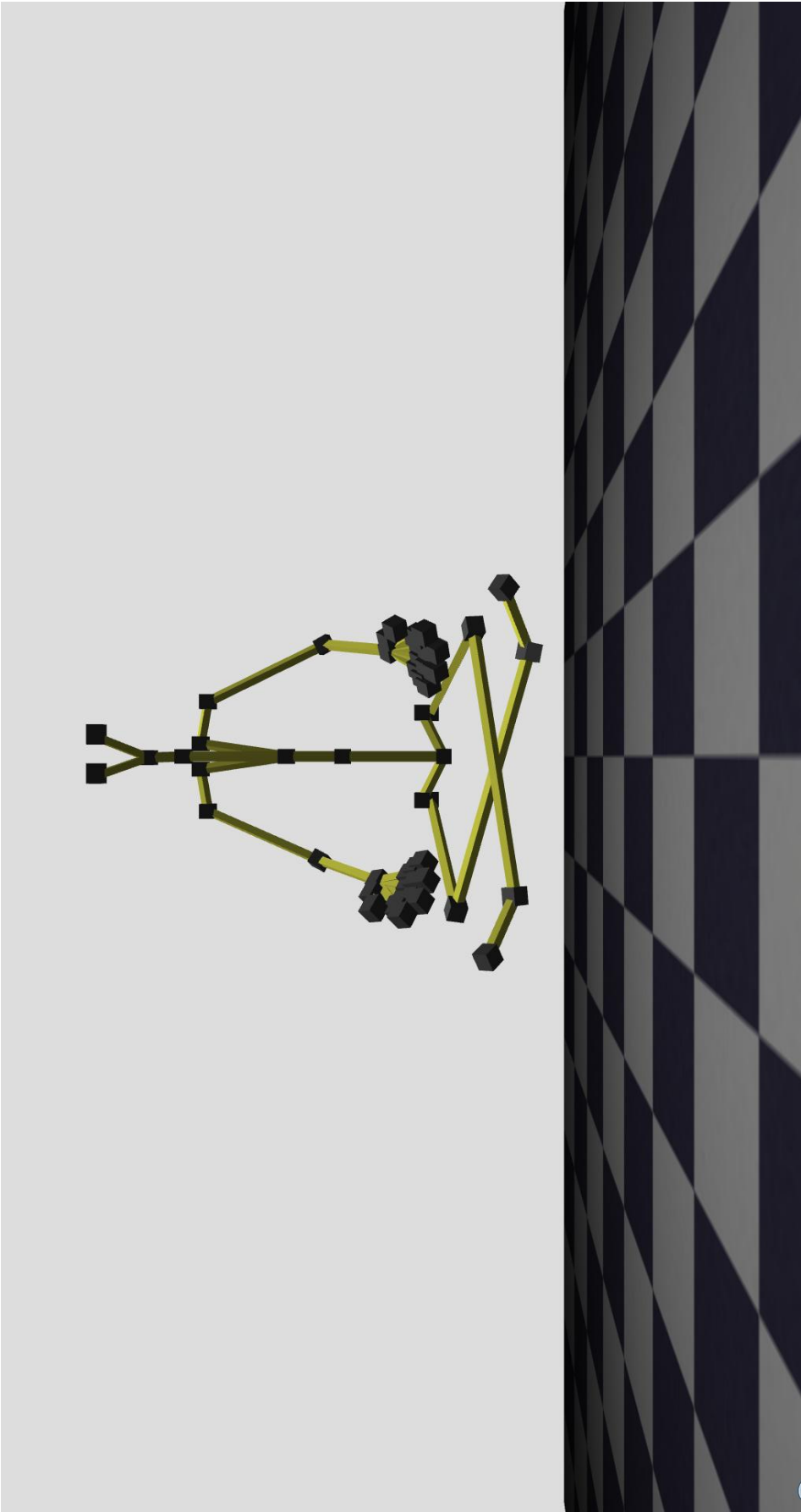
Příloha 6: LabanWriter



Příloha 7: Ukázky výsledků práce







Příloha 8: Obsah přiloženého DVD

- Implementovaný prototyp
 - Zdrojové kódy programu
 - Soubory projektu MS Visual Studio
 - Textury
 - Bvh soubory
 - Readme.txt
- Snímky z aplikace
- Text bakalářské práce