

# MODELOVANIE POVRCHU RUKY VO VIRTUÁLNO-REALITNOM SYSTÉME (MODELLING OF HAND SURFACE IN VIRTUAL-REALITY SYSTEM)

Branislav SOBOTA

Katedra počítačov a informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach,  
Letná 9, 042 00 Košice, tel. 055/602 2563, E-mail: branislav.sobota@tuke.sk

## SUMMARY

*This paper deals with the virtual-reality system and it is focused to kinematic and statokinetic and visualisation subsystems. Main stream of this paper describes a modelling of human hand surface. Model of human hand is based on skeleton model with using of complex geometric transformations a NURBS for surface representation.*

*The paper is divided to three parts. First part describes skeleton model of human hand. Every finger is approximated with linear construction and every construction contains rotation nodes and edges with fixed length. Second part contains description of surface model. Surface is assigned for every edge (bone) of skeleton model. This surface has cylinder form and is constructed from two parts: upper and bottom part. Every part is defined by NURBS plane. One chapter describes association between edge (finger bone) of skeleton model and appropriate control points of NURBS plane. Thumb is solved separately. In the last part are described advantages, disadvantages and usage of this solution. This part contains the example of output from program implementation.*

**Keywords:** virtual reality, modelling, human hand, surface model, NURBS

## 1. ÚVOD

Virtuálna realita je relatívne nová oblasť v oblasti počítačových vied. Pojem virtuálna realita predstavuje interaktívny výpočtový systém vytvárajúci ilúziu 3-rozmerného priestoru. Medzi hlavné podsystemy virtuálno-realitného systému patria: vizuálny, akustický a kinematický podsystem [12]. Určovanie pohybu resp. polohy (tzv. tracking) pozorovateľa patrí do posledne menovaného podsystemu VR-systému [8]. V rámci určovania polohy patria medzi hlavné úlohy určovanie pozície hlavy, rúk, nôh príp. celého tela. Na základe výsledku týchto operácií sa prispôbuje používateľovi aj virtuálny svet. Všetky z týchto systémov sa líšia najmä rýchlosťou odozvy, presnosťou vyhodnocovania, konštrukčnou náročnosťou a z toho vyplývajúcou cenou ako napr. bowdenové, ultrazvukové, magnetické či optické systémy. Optický spôsob sa úspešne využíva navyše aj pri určovaní ohybu v kĺboch (napr. koleno, ruky, prsty atď.) na základe intenzity svetla prechádzajúceho svetlovodným káblom.

Po zosnímaní polohy príp. zosyntetizovaní polohy je potrebná vizualizácia. Problematika vizualizácie je spracovaná v súčasnosti na pomerne vysokej úrovni, s vizualizáciou stále zložitejších scén [11], ktoré sa čoraz viac približovali realite. Nevyhnutnosťou sa stalo aj zobrazovanie prírodných objektov, javov, zvierat a ľudí príp. častí ľudského tela. Tieto objekty sú často nie triviálne, ani ich modelovanie a simulácia nie je jednoduchá. Častokrát sa pre tieto účely využívala aproximácia objektov pomocou jednoduchých geometrických telies [10] ako kváder, kužeľ a guľa. Väčšina modelov používaných k simulácii ruky [3][7] skeletálny model. Je to aj z dôvodu následného použitia v telerobotických [4][6] a riadiacich systémoch [15] alebo v biomechanických

simuláciách s aplikáciou transformačných a deformačných funkcií [2][5] z pohľadu konečnej vizualizácie.

Nakoľko sa na virtuálno-realitné systémy kladú stále väčšie požiadavky na dosiahnutie realistickej podoby, tieto postupy prestávajú dostatočne spĺňať očakávania tvorcov a používateľov týchto systémov. Preto je potrebné hľadať novšie a dokonalejšie postupy tvorby.

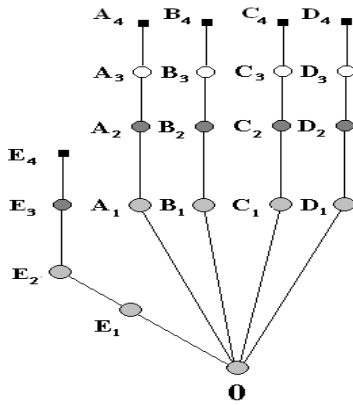
## 2. NÁVRH MODELU ĽUDSKEJ RUKY

### 2.1. Drôtový model

Na základe poznatkov o anatómii ľudskej ruky [16] je možné aproximovať sústavu kostí a kĺbov podieľajúcich sa na pohybe jednotlivých prstov a palca. Pre aproximáciu častí ruky sa ako výhodný javí drôtový model [1], ktorý jednotlivé kosti nahradzuje úsečkami s konštantnou dĺžkou (skeletálny model). Jednotlivé kĺby sú v tomto modeli umiestnené v začiatkoch, respektíve v koncoch nadväzujúcich úsečiek. Predstavujú vlastne body v priestore, podľa ktorých sa vykonáva rotačný pohyb úsečiek [13].

Bod 0 je počiatkový bod celej sústavy, od ktorého sa odvodzuje poloha všetkých ostatných bodov. V samotnej ruke by tento bod ležal v strede hlavičkatej kosti zápastia. Tento bod v modeli nahradzuje všetky kosti zápastia.

Vychádzajúc z [13] samotný drôtový model nám s požadovanou presnosťou aproximuje sústavu kostí a kĺbov dôležitých pre pohyb jednotlivých prstov. Pre realistickejšie zobrazenie ruky je však potrebné na tento drôtový model aplikovať ďalší model, ktorý by nahradzoval svalstvo ruky (muskulárny model) resp. povrch (kožu) ruky. Pohyb jednotlivých častí tohto modelu musí byť odvodený od pohybu súvisiacich častí drôtového modelu.

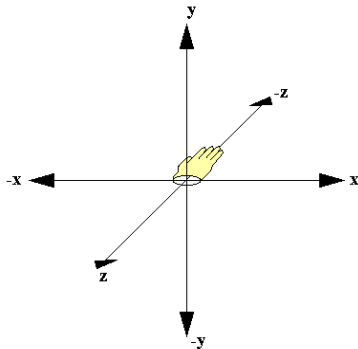


**Obr. 1** Drôtový model ruky  
**Fig. 1** Wireframe model of human hand

## 2.2. Povrchový model

Keďže navrhovaný model vytvára akúsi obálku drôtového modelu, je výhodné ho riešiť ako plošný model.

Vzhľadom ku skutočnosti, že sa jedná o plošné útvary v trojrozmernom priestore, je potrebné najprv zadať súradnicovú sústavu, ktorá sa bude používať. Pre návrh modelu v priestore bola využitá trojrozmerná pravouhlá karteziánska sústava.



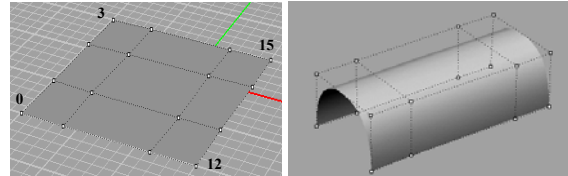
**Obr. 2** Použitá súradnicová sústava  
**Fig. 2** Used coordinating system

Orientácia jednotlivých osí je z implementačného hľadiska zhodná s orientáciou osí v prostredí OpenGL. Z Obr. 2 je zrejme aj uloženie navrhovaného modelu v priestore t.j. ruka leží v rovine  $xz$ , bod  $O$  (stred zápästia, Obr. 1) je v počiatku súradnicovej sústavy t.j. v bode  $(0,0,0)$  a prsty sú orientované v zápornom smere osi  $z$ .

Ako základ pre stavbu plošného modelu boli použité NURBS plochy. Podobný výsledok by sa dal dosiahnuť aj pri použití Beziérových plôch. Rozhodnutie vyplýva hlavne z lepších modelovacích schopností NURBS plôch a z dôvodu širokej podpory NURBS plôch v implementačnom prostredí OpenGL. Navyše toto riešenie povoľuje do budúcnosti rozširovať kvalitu zobrazenia modelu ruky aj riadením váh riadiacich bodov.

Všetky plochy použité v plošnom modeli majú šestnásť riadiacich bodov. Zmenou polohy ľubovoľného z týchto bodov meníme aj výsledný

tvár danej plochy. Na Obr. 3 je znázornená upravená NURBS plocha, z ktorej boli vymodelované jednotlivé články prstov. Samotná plocha leží v rovine  $xz$ . Tento tvar bol získaný presunom bodov 0-3 a bodov 12-15 v rovine  $xz$  a presunom bodov 4-11 v rovine  $yx$ . Týmto postupom je možné získať polovicu opláštenia valca.



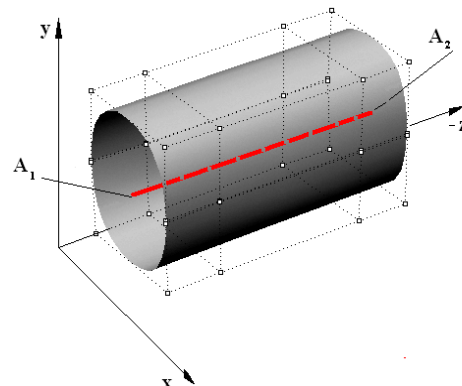
**Obr. 3** NURBS plocha a jej modifikácia  
**Fig. 3** NURBS plane and its modification

Zložením dvoch plôch zrkadlovo otočených podľa roviny  $z$  sa dá získať plášť valca. Ten predstavuje základný stavebný prvok plošného modelu ruky.

Opakovaním takejto štruktúry a úpravou jednotlivých riadiacich bodov možno dosiahnuť vizuálny vnem pripomínajúci teleso v priestore. Na zabezpečenie pohybu tohto telesa, ktorý by sledoval zmeny polohy jednotlivých bodov v drôtovom modeli ruky, je potrebné namapovať jednotlivé plochy na prvky definovaného modelu.

## 2.3. Mapovanie plošného modelu ruky na drôtový model

Jednou z možností ako zabezpečiť súvislosť pohybu častí oboch modelov je použiť jednotlivé vetvy drôtového modelu, ako stredové osi pre stavbu opláštenia telesa. Tento variant má oporu v reálnom svete, keďže kosti ruky jednotlivých prstov a palca sú umiestnené približne v strede príslušnej svalovej sústavy, ktorá ich obklopuje. Tento spôsob je možné realizovať vhodným rozmiestnením kontrolných bodov jednotlivých plôch, ktorých polohu bude možné presne určiť na základe polohy bodov A až E z drôtového modelu a matematických funkcií a výpočtov. Pre názornú predstavu nám môže poslúžiť Obr. 4.

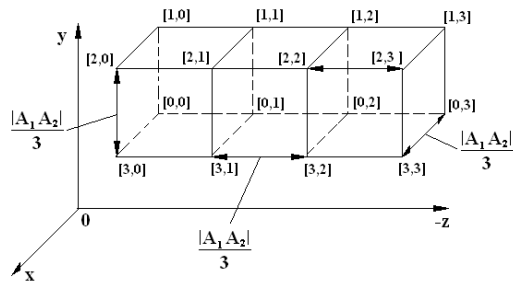


**Obr. 4** Väzba medzi modelmi ruky  
**Fig. 4** Relation between and models

Na Obr. 4 je zvýraznená spojnica bodov  $A_1A_2$  predstavujúca prvý článok ukazováka.

Jednotlivé riadiace body sú pravidelne usporiadané s odstupom  $\pm|A_1A_2|/3$  v smere osi  $x$  od úsečky  $A_1A_2$ .

Vrchné a spodné riadiace body oboch plošných útvarov sú vo vzdialenosti  $\pm|A_1A_2|/3$  v smere osi  $y$ .



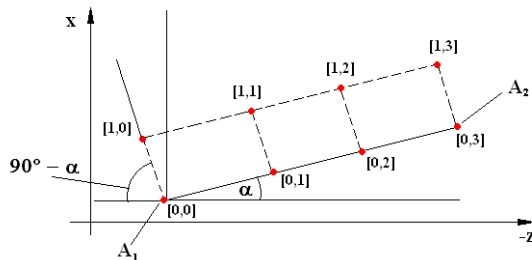
**Obr. 5** Rozostavenie riadiacich bodov NURBS plochy

**Fig. 5** Arrange of NURBS control points

Rozmiestnenie jednotlivých riadiacich bodov pozdĺž osi  $z$  a ich vzdialenosti medzi sebou navzájom znázorňuje Obr. 5.

#### 2.4. Model prsta

Ako bolo uvedené v [13], návrhu skeletálneho modelu bol zjednodušený. Pri pohybe prstov sa nebralo do úvahy približovanie prstov medzi sebou a ich odťahovanie od seba. Problém otáčania okolo jednotlivých kĺbov sa tým rieši v dvojrozmernom priestore.



**Obr. 6** Rotácia riadiacich bodov okolo bodu  $A_1$   
**Fig. 6** Rotation of control points around point  $A_1$

Pri rotácii bodu  $A_2$  podľa bodu  $A_1$  sa menia súradnice riadiacich bodov plôch podľa nasledujúcich vzťahov:

$$\begin{aligned} x &= x(A_1) - \frac{|A_1A_2|}{3} \\ \text{Bod [0,0]: } y &= y(A_1) \\ z &= z(A_1) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} x &= x(A_1) - \frac{|A_1A_2|}{3} \\ \text{Bod [0,1]: } y &= y(A_1) + \frac{|A_1A_2|}{3} \times \sin \alpha \\ z &= z(A_1) - \frac{|A_1A_2|}{3} \times \cos \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} x &= x(A_1) - \frac{|A_1A_2|}{3} \\ \text{Bod [0,2]: } y &= y(A_1) + \frac{2 \times |A_1A_2|}{3} \times \sin \alpha \\ z &= z(A_1) - \frac{2 \times |A_1A_2|}{3} \times \cos \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} x &= x(A_1) - \frac{|A_1A_2|}{3} \\ \text{Bod [0,3]: } y &= y(A_1) + |A_1A_2| \times \sin \alpha \\ z &= z(A_1) - |A_1A_2| \times \cos \alpha \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} x &= x(A_1) - \frac{|A_1A_2|}{3} \\ \text{Bod [1,0]: } y &= y(A_1) + \frac{|A_1A_2|}{3} \times \sin(90^\circ - \alpha) \\ z &= z(A_1) + \frac{|A_1A_2|}{3} \times \cos(90^\circ - \alpha) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Bod [1,1]:} \\ x &= x(A_1) - \frac{|A_1A_2|}{3} \\ y &= y(A_1) + \frac{|A_1A_2|}{3} \times \sin \alpha + \frac{|A_1A_2|}{3} \times \sin(90^\circ - \alpha) \\ z &= z(A_1) + \frac{|A_1A_2|}{3} \times \cos \alpha + \frac{|A_1A_2|}{3} \times \cos(90^\circ - \alpha) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{Bod [1,2]:} \\ x &= x(A_1) - \frac{|A_1A_2|}{3} \\ y &= y(A_1) + \frac{2 \times |A_1A_2|}{3} \times \sin \alpha + \frac{|A_1A_2|}{3} \times \sin(90^\circ - \alpha) \\ z &= z(A_1) + \frac{2 \times |A_1A_2|}{3} \times \cos \alpha + \frac{2 \times |A_1A_2|}{3} \times \cos(90^\circ - \alpha) \end{aligned} \quad (7)$$

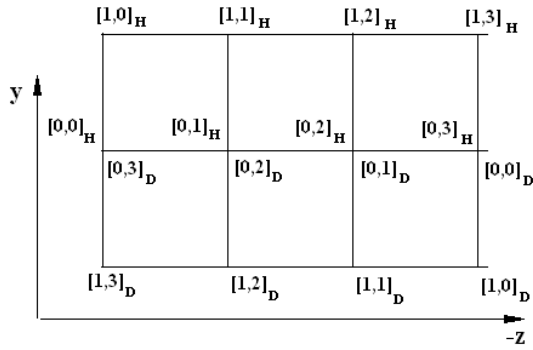
$$\begin{aligned} \text{Bod [1,3]:} \\ x &= x(A_1) - \frac{|A_1A_2|}{3} \\ y &= y(A_1) + |A_1A_2| \times \sin \alpha + \frac{|A_1A_2|}{3} \times \sin(90^\circ - \alpha) \\ z &= z(A_1) + |A_1A_2| \times \cos \alpha + \frac{|A_1A_2|}{3} \times \cos(90^\circ - \alpha) \end{aligned} \quad (8)$$

Pre body [2,0], [2,1], [2,2] a [2,3] je výpočet súradníc  $y$  a  $z$  rovnaký ako pre body [1,0], [1,1], [1,2] a [1,3]. Podobne body [3,0], [3,1], [3,2] a [3,3] majú rovnaké súradnice  $y$  a  $z$  ako body [0,0], [0,1], [0,2] a [0,3].

Obidve skupiny bodov sa líšia od predošlých v hodnote  $x$ -ovej súradnice, ktorá má nasledovný tvar:

$$x = x(A_1) + \frac{|A_1A_2|}{3} \quad (9)$$

Všetky uvedené vzťahy platia pre vrchnú časť valcového plášt'a. Riadiace body spodnej časti plášt'a je možné vypočítať buď analogickým spôsobom ako v predošlom prípade, teda pomocou goniometrických funkcií, alebo spôsobom, ktorý využíva skutočnosť, že obe plochy majú spoločné okrajové body. Súradnice bodov, ktoré nie sú spoločné, je možné pomerne ľahko vypočítať s využitím stredovej súmernosti podľa spoločných bodov:



**Obr. 7** Návaznosť riadiacich bodov  
**Fig. 7** Join of control points

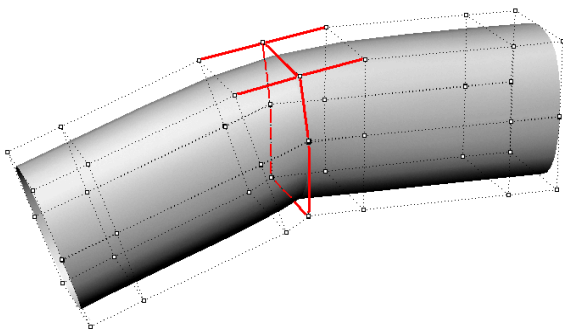
Na Obr. 7 je znázornený spôsob previazania vrchného a spodného plátu. Spodná plocha má obrátený smer nárastu parametra  $v$  (*uv-priestor* NURBS plochy), čiže na mieste bodu  $[0,0]_D$  sa nachádza bod  $[0,3]_D$  a podobne. Tým sa dosiahne otočenie normálového vektora plochy, ktorý takto smeruje von z plochy. Bod  $[1,3]_D$  je stredovo súmerný podľa bodu  $[0,0]_H$  s bodom  $[1,0]_H$ , teda platí vzťah:

$$[x, y, z]_{13D} = [x, y, z]_{00H} - ([x, y, z]_{10H} - [x, y, z]_{00H}) \quad (10)$$

Analogicky je možné vypočítať všetkých osem nespoľných bodov dolnej časti plášt'a.

## 2.5. Naviazanie NURBS plôch

V predošlej kapitole bol uvedený výpočet riadiacich bodov opláštenia modelu prstov. Takýmto spôsobom je možné vytvoriť obálku pre ďalšie dve dvojice vrcholov drôtového modelu a tým vytvoriť trojčlánkový model prsta. Keďže sa každý ďalší článok ohýba v koncovom bode predošlého článku, je potrebné vyriešiť problematiku vzájomného naviazania valcových plôch.



**Obr. 8** Naviazanie NURBS plôch  
**Fig. 8** Join of NURBS planes

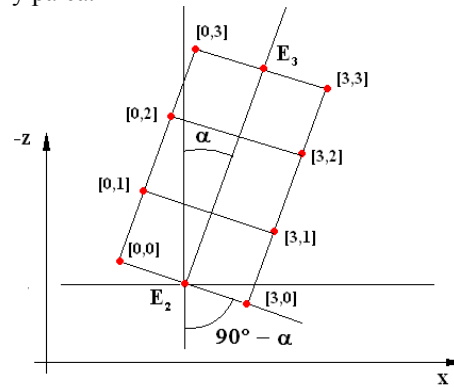
Z Obr. 8 je zrejmé, že pre spojitost' nultého rádu je postačujúce, ak sú koncové riadiace body prvej plochy identické so začiatočnými riadiacimi bodmi druhej plochy. Tento spôsob je použitý na spojenie spodných častí článkov jednotlivých prstov. Vychádza sa pri tom z predpokladu, že pri reálnom

ohybe prstov ľudskej ruky je v tomto mieste spojenia ostrý prechod.

Pre vytvorenie hladkého prechodu na hornej strane spojených plôch je potrebné zabezpečiť na tomto mieste spojitost' prvého rádu, čo je možné pomocou umiestnenia osmice riadiacich bodov do jednej roviny. Prakticky je to možné zrealizovať umiestnením hraničných bodov oboch plôch do stredu úsečky spájajúcej predposledný bod prvej plochy a nasledujúci bod druhej plochy, ako je viditeľné na Obr. 8.

## 2.6. Model palca

Pre model palca sa použijú tie isté stavebné prvky ako v prípade ostatných štyroch prstov. Rozdielne sú len transformačné vzťahy pre výpočet riadiacich bodov. V drôtovom modeli ruky základ odpovedá bodu  $E_2$  a riadi sa podľa neho pohyb bodov  $E_3$  a  $E_4$ . Úsečky  $E_2E_3$  a  $E_3E_4$  predstavujú dva články palca.



**Obr. 9** Rotácia riadiacich bodov okolo bodu  $E_2$   
**Fig. 9** Rotation of control points around point  $E_2$

Táto rotácia sa vykonáva okolo osi  $y$ , teda je potrebné prepočítať súradnice  $x$  a  $z$  jednotlivých riadiacich bodov.

Pre výpočet súradníc riadiacich bodov po otočení okolo bodu  $E_2$  platia nasledovné vzťahy:

Bod  $[0,0]$ :

$$\begin{aligned} x &= x(E_2) - \frac{|E_2E_3|}{3} \times \sin(90^\circ - \alpha) \\ y &= y(E_2) \\ z &= z(E_2) + \frac{|E_2E_3|}{3} \times \cos(90^\circ - \alpha) \end{aligned} \quad (11)$$

Bod  $[0,1]$ :

$$\begin{aligned} x &= x(E_2) - \frac{|E_2E_3|}{3} \times \sin(90^\circ - \alpha) - \frac{|E_2E_3|}{3} \times \sin \alpha \\ y &= y(E_2) \\ z &= z(E_2) + \frac{|E_2E_3|}{3} \times \cos(90^\circ - \alpha) - \frac{|E_2E_3|}{3} \times \cos \alpha \end{aligned} \quad (12)$$

Bod  $[0,2]$ :

$$\begin{aligned} x &= x(E_2) - \frac{|E_2E_3|}{3} \times \sin(90^\circ - \alpha) - \frac{2 \times |E_2E_3|}{3} \times \sin \alpha \\ y &= y(E_2) \\ z &= z(E_2) + \frac{|E_2E_3|}{3} \times \cos(90^\circ - \alpha) - \frac{2 \times |E_2E_3|}{3} \times \cos \alpha \end{aligned} \quad (13)$$

Bod [0,3]:

$$\begin{aligned}x &= x(E_2) - \frac{|E_2 E_3|}{3} \times \sin(90^\circ - \alpha) - |E_2 E_3| \times \sin \alpha \\y &= y(E_2) \\z &= z(E_2) + \frac{|E_2 E_3|}{3} \times \cos(90^\circ - \alpha) - |E_2 E_3| \times \cos \alpha\end{aligned}\quad (14)$$

Bod [3,0]:

$$\begin{aligned}x &= x(E_2) + \frac{E_2 E_3}{3} \times \sin(90^\circ - \alpha) \\y &= y(E_2) \\z &= z(E_2) - \frac{|E_2 E_3|}{3} \times \cos(90^\circ - \alpha)\end{aligned}\quad (15)$$

Bod [3,1]:

$$\begin{aligned}x &= x(E_2) + \frac{|E_2 E_3|}{3} \times \sin(90^\circ - \alpha) - \frac{|E_2 E_3|}{3} \times \sin \alpha \\y &= y(E_2) \\z &= z(E_2) - \frac{|E_2 E_3|}{3} \times \cos(90^\circ - \alpha) - \frac{|E_2 E_3|}{3} \times \cos \alpha\end{aligned}\quad (16)$$

Bod [3,2]:

$$\begin{aligned}x &= x(E_2) + \frac{|E_2 E_3|}{3} \times \sin(90^\circ - \alpha) - \frac{2 \times |E_2 E_3|}{3} \times \sin \alpha \\y &= y(E_2) \\z &= z(E_2) - \frac{|E_2 E_3|}{3} \times \cos(90^\circ - \alpha) - \frac{2 \times |E_2 E_3|}{3} \times \cos \alpha\end{aligned}\quad (17)$$

Bod [3,3]:

$$\begin{aligned}x &= x(E_2) + \frac{|E_2 E_3|}{3} \times \sin(90^\circ - \alpha) - |E_2 E_3| \times \sin \alpha \\y &= y(E_2) \\z &= z(E_2) - \frac{|E_2 E_3|}{3} \times \cos(90^\circ - \alpha) - |E_2 E_3| \times \cos \alpha\end{aligned}\quad (18)$$

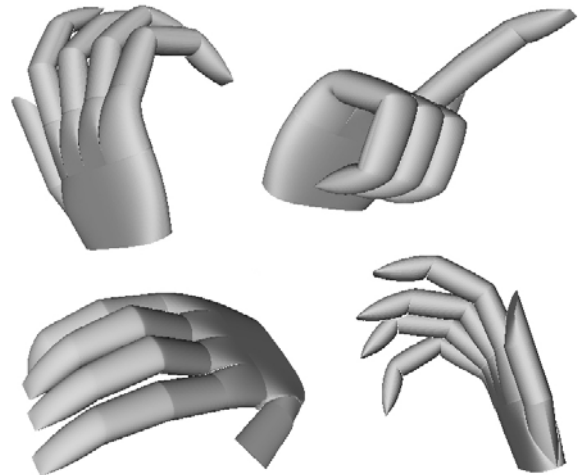
Pre body [1,0], [1,1], [1,2] a [1,3] je výpočet súradníc  $x$  a  $z$  rovnaký ako pre body [0,0], [0,1], [0,2] a [0,3]. Podobne body [2,0], [2,1], [2,2] a [2,3] majú rovnaké súradnice  $x$  a  $z$  ako body [3,0], [3,1], [3,2] a [3,3]. Tieto dve štvorice bodov majú rovnakú hodnotu  $y$ -ovej súradnice:

$$y = y(E_2) + \frac{|E_2 E_3|}{3}\quad (19)$$

### 3. ZÁVER

Aplikovaním uvedeného postupu je možné získať v spojení so skeletálnym modelom širokú škálu pozícií a tvarov jednotlivých prstov a palca a následne celej ruky. Vychádzajúc z [14] môže byť tento systém vhodný na experimentálne účely v procese výuky biológie a biofyziky alebo na vizualizáciu ruky v rozhraniach informačných a riadiacich systémov [15]. Napriek svojim zjednodušeniam, je tento model vhodný aj na vizualizáciu [9] údajov zosnímaných z datovej rukavice alebo na priamu syntézu modelu ruky. Implementácia bola vykonaná v jazyku C++, prekladačom MS Visual C 6 na platforme MS WindowsXP s využitím grafickej knižnice OpenGL. Ukážka je uvedená na nasledujúcom obrázku. Na zlepšenie celkového vzhľadu je možné na príslušné NURBS povrchy aplikovať patričnú

textúru. Nevýhodou použitia NURBS plôch je ich počet a tým následná výpočtová náročnosť celého modelu, najmä z pohľadu vizualizácie v reálnom čase. Toto predikuje použitie výkonnejších výpočtových systémov. Problém popisovaný v tomto príspevku bol riešený ako časť projektu riešenia paralelných architektúr špecializovaných vysokovýkonných počítačových systémov za účelom simulácie a aplikácie modelu človeka v prostrediach virtuálnej reality.



**Obr. 10** Ukážka vizualizácie modelu ruky  
**Fig. 10** Example of visualisation of hand

### LITERATÚRA

- [1] Brian Wyvill, Kees van Overveld: Tiling Techniques for Implicit Skeletal Models. Implicit Surfaces for Geometric Modeling and Computer Graphics, SIGGRAPH 1996.
- [2] Moccozet, L. – Thalmann, N.M.: Multilevel Deformation Model Applied to Hand Simulation for Virtual Actors; MIRALab University of Geneva; 1998  
<http://www.miralab.unige.ch/papers>
- [3] Hendrickx, S.: Human Hand Simulation with Java 3D; K.U. Leuven, 1999-2003; <http://www.geocities.com/stefanhendrickx/hand/robotics.html>
- [4] Millery A. - Alleny P. - Santosz V. - Valero-Cuevasz F.: From Robotic Hands to Human Hands: A Visualization and Simulation Engine for Grasping Research; Dept. of Computer Science Columbia University and Neuromuscular Biomechanics Laboratory, Cornell University, NY, USA, 2003.
- [5] Ponce J. - Sullivan S. - Boissonnat J.D. - Merlet J. P.: On characterizing and computing three- and four-finger force-closure grasps of polyhedral objects. In Proc. of the 1993 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, pages 821-827, 1993.
- [6] Wilkinson D.D. - Weghe M.V. - Matsuoka Y.: An extensor mechanism for an anatomical robotic hand. In Proc. of the 2003 IEEE Intl.

- Conf. on Robotics and Automation, pages 238-243, 2003.
- [7] Albrecht I. - Haber J. - Seidel H.P.: Construction and Animation of Anatomically Based Human Hand Models. In: Proc. Eurographics/SIGGRAPH Symp. on Computer Animation 2003, 2003, pp.98-109, 368.
- [8] Jánsky, M.: Parallel implementation environment for kinematic frame of virtual reality system solving; DCI FEI TU Košice, 1998, ps.57 (in slovak).
- [9] Jasaň, M.: Modelovanie a vizualizácia ľudskej ruky; Diplomová práca; KPI FEI TU Košice, Košice 2004.
- [10] Rossignac, J.: Geometric Simplification, ACM SIGGRAPH 96 Course Notes, Interactive Walkthrough of Large Geometric Databases, p 117.
- [11] Sobota, B.: Príspevok k riešeniu vizualizačného rámca systémov virtuálnej reality; Dizertačná práca, KPI FEI TU Košice, Košice dec. 1998 máj 1999, ps. 117.
- [12] Sobota, B. - Janošo, R. - Jánsky, M. - Valigurský, M.: PROLAND – the basic conception of creating of virtual reality system; Proceedings of FEI International Conference - Electronic Computers & Informatics ECI'99, Košice-Herľany, 14.-15. október 1999, ss. 224-229.
- [13] Sobota, B.: Modelovanie ľudskej ruky vo virtuálno-reálnom systéme; Acta Electrotechnica et Informatica No. 1, Vol. 5, 2005, Košice marec 2005, ss. 50-56, ISSN 1335-8243.
- [14] Bernátová, R. – Bernát, M.: Technika vizualizácie systému logickej štruktúry biologického a biofyzikálneho učiva na báze jeho kybernetickej podstaty. Technológia vzdelávania, V-XII, 03/2004, s. 12-14, ISSN 1335-003X.
- [15] Zolotová, I. – Mihaľo, B. – Ocelíková, E. – Landryová, L.: Contribution to Models of Supervisory Control, Data Acquisition and Human Machine Interface. Acta Electrotechnica et Informatica, No. 2, Vol. 2, 2002, pp. 62-67, FEI TU Košice, Slovak Republic, ISSN 1335-8243.
- [16] Čihák, R.: Anatomie 1. 2. upravené a doplnené vyd. Grada Publishing, 2001. 477 s. ISBN 80-7169-970-5.

## BIOGRAPHY

**Branislav Sobota** was born on 22.05.1967. In 1990 he graduated (MSc.) with honours at the department of Computers and Informatics of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics at Technical University in Košice. He defended his PhD. in the field of virtual reality and computer graphics in 1999; his thesis title was "A contribution to solution of visualisation frame of virtual reality system". Since 1991 he is working as a lecturer at the Department of Computers and Informatics. His scientific research is focusing on computer graphics and virtual reality. In addition to this, he also investigates the questions related to the parallel computing and modelling and simulation.