

# MODELOVANIE ĽUDSKEJ RUKY VO VIRTUÁLNO-REALITNOM SYSTÉME (HUMAN HAND MODELLING IN VIRTUAL-REALITY SYSTEM)

Branislav SOBOTA

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

## SUMMARY

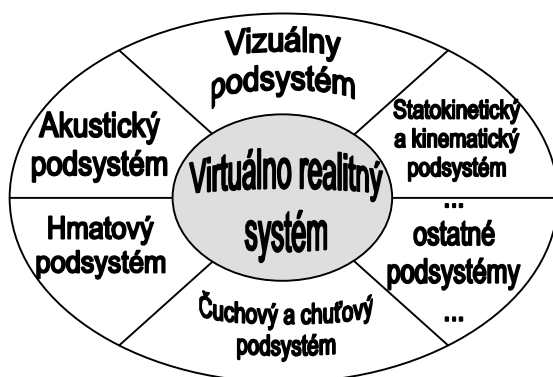
*This paper deals with the virtual-reality system focused to kinematic and statokinetic and visualisation subsystems. Main stream of this paper described a modelling of human hand. Model of human hand is based on skeleton model with using of complex geometric transformations.*

*The paper is divided to three parts. First part described anatomy of human hand. This part include also dividing of appropriate joints to three types: carpal-metacarpal joint (bolster type), metacarpalsegment joints (spherical type) and intersegment joints (roller type). In second part, based on these knowledges, is designed wireframe model of human hand. Every finger is approximated with linear construction and every construction contains rotation nodes and edges with fixed length. Here are also analysed possibilities of finger hang and tightening and draw in metacarpalsegment joint. Next are listed appropriate relations for geometric transformations. As example is used forefinger model. In the next subchapter are analysed possibilities of finger hang in proximal and distant intersegment joint and relations for appropriate transformations. Next subchapter contains analyse of thumb motion: rotation in carpal-metacarpal joint, tightening and draw and hang of thumb in intersegment joint. Considering to selfhood must be thumb solve separately. In the last part are described advantages and disadvantages of this solving. This part contains an example of output from program implementation.*

**Keywords:** virtual reality, modelling, human hand, skeleton model, geometric transformations

## 1. ÚVOD

Vývoj nových technológií v súčasnej dobe je závažný. K tomuto procesu vo výraznej miere prispelo nasadzovanie výpočtovej techniky a elektroniky do rôznych oblastí ľudskej činnosti. Jedným z fenoménov tohto zásahu je aj veľmi progresívny fenomén súčasného obdobia, fenomén zvaný *virtuálna realita* (VR). Každý virtuálno-reálny systém je zložený z podsystémov [14].



Obr. 1 Podsystémy VR systému  
Fig. 1 Subsystems of VR-system

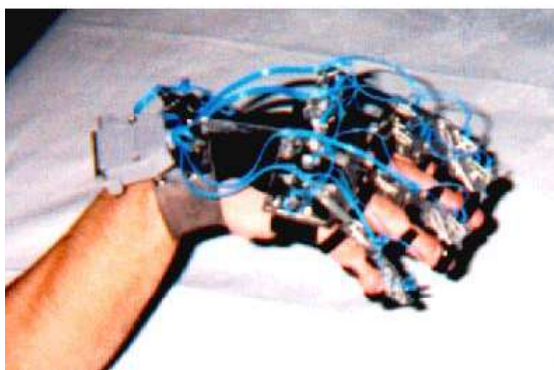
Kategorizácia subsystémov VR je daná hlavne podľa zmyslov, na ktoré jednotlivé časti VR-systému pôsobia: *Vizuálny subsystém*, *Akustický subsystém*, *Kinematický a statokinetic subsystém*, *Hmatový a dotýkový subsystém* a *Iné vnemy* (napr. vnemy čuchové, chuťové, citlivosť na feromóny, citlivosť pri chorobe, bolesť, spánok či myšlienky. Mnohé z nich sú vo virtuálnom svete málo podstatné

a tiež v reálnom svete tak málo preskúmané, že nemá zmysel uvažovať o ich simulácii.

Určovanie pohybu resp. polohy (tzv. tracking) pozorovateľa patrí medzi tri najdôležitejšie funkcie VR-systému [10] (v rámci statokinetickeho a kinematickeho podsystému). 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. Medzi základné snímacie prostriedky patria dátová rukavica, prilba, príp. oblek. Významnou mierou sa v súčasnosti montujú snímače polôh hlavy do dátových prilb. Všetky z týchto systémov sa líšia najmä rýchlosťou odozvy, presnosťou vyhodnocovania, konštrukčnou náročnosťou a z toho vyplývajúcou cenou. Napr. u bowdenových systémov sa vyhodnocuje zmena dĺžky ťahel, pri ultrazvuku sa vyhodnocuje spozdenie medzi vyslaním a príjmom signálu, obdobne je to pri infračervenom systéme. V prípade magnetického určovania sa vyhodnocujú prúdy vytvárané pri pohybe príslušných svalov a končatín a pri optickom sledovaní sa toto najčastejšie vykonáva pomocou videokamier s následným počítačovým vyhodnocovaním. 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. Systémy virtuálnej reality sa počas svojho vývoja zaoberali aj vizualizáciou stále zložitejších scén [13], ktoré sa čoraz viac približovali realite. Preto sa stalo nevyhnutným zobrazovanie aj prírodných objektov,

javov, zvierat a ľudí príp. častí ľudského tela. Keďže tieto objekty sú často nie triviálne, ani ich modelovanie a simulácia nie je jednoduchá. Donedávna sa pre tieto účely využívala aproximácia objektov pomocou jednoduchých geometrických telies [12] ako kváder, kužeľ a guľa. Väčšina modelov používaných k simulácii ruky [5][9] využíva skeletálny model. Je to aj z dôvodu následného použitia v telerobotických systémoch [6][8]. Okrem toho na tento typ modelu je možné jednoduchšie aplikovať transformačné a deformačné funkcie [4][7] z pohľadu konečnej vizualizácie.



**Obr. 2** Ukážka dátovej rukavice bez poľahu (vývoj KPI FEI TU Košice)

**Fig. 2** An example of data-glove w/o cover (development DCI FEI TU Košice)

Nakoľko sa na virtuálno-reálné 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. ANATÓMIA ĽUDSKEJ RUKY

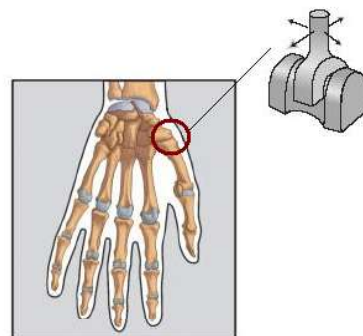
Pre návrh modelu simulujúceho pohyb jednotlivých prstov ľudskej ruky je nevyhnutné získať poznatkov o stavbe jednotlivých kostí, kĺbov a svalstva, ktoré sa pri tomto pohybe podieľajú.

Kĺby ruky je súhrnný názov pre nasledujúcu skupinu kĺbov [2] [3]: *zápästné*, *zápästno-záprstné* (karpometakarpové), *medzizáprstné* (intermetakarpové), *záprstnočlánkové* (metakarpofalangové) a *medzičlánkové*. Na pohybe prstov a palca sa zúčastňujú v prevažnej miere len zápästnozáprstný kĺb palca, všetky záprstnočlánkové kĺby a všetky medzičlánkové kĺby.

### 2.1. Zápästnozáprstný kĺb palca

Nachádza sa medzi väčšou lichobežníkovou kosťou a bázou palcového metakarpu. Je to sedlový kĺb.

Kĺbové puzdro je voľné, ale pevné. V tomto kĺbe sú možné dve hlavné dvojice pohybov:

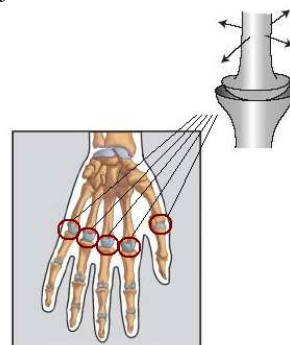


**Obr. 3** Zápästnozáprstný kĺb palca (typ sedlový)  
**Fig. 3** Carpal-metacarpal joint of thumb (bolster type)

- abdukcia alebo addukcia palca, teda palec sa približuje, alebo vzdaluje od ukazováka v rozsahu 40° až 60°,
- opozícia a reopozícia palca, teda palec sa pohybuje oproti tretiemu prstu, alebo sa oddaluje v rozsahu až 60°.

### 2.2. Záprstnočlánkové kĺby

Sú to kĺby medzi hlavami metakarpov a základňami bližších (proximálnych) článkov prstov. Je to päť samostatných kĺbov. Hlavy metakarpov majú na spakručnej strane guľovitý tvar, na dlaňovej strane valcovitú plochu. V týchto kĺboch sa prsty ohýbajú (flexia) a vystierajú (extenzia) v rozsahu asi 90°, ďalej sa odťahujú (abdukcia) a sťahujú (addukcia), to značí, že sa pohybujú k osi ruky a od osi ruky, ktorá prebieha cez os tretieho prsta, v rozsahu asi 45°. Abdukciu a addukciu vo flexii znemožňuje valcovitý tvar dotkových plôch kĺbov. Pre ukazovák a malíček má rozsah asi 45°, pre druhé dva trojčlánkové prsty o čosi menej.

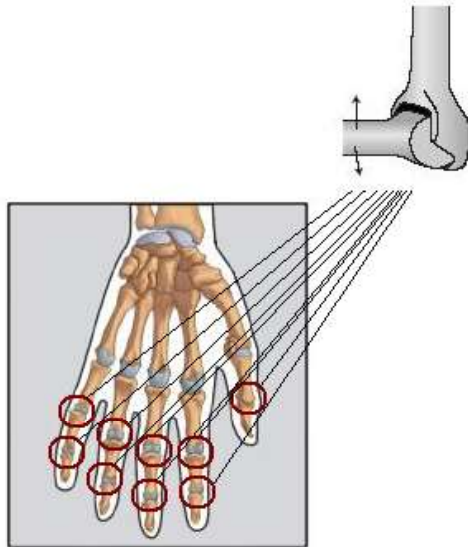


**Obr. 4** Záprstnočlánkové kĺby (typ guľový)  
**Fig. 4** Metacarpalsegment joints (spherical type)

### 2.3. Medzičlánkové kĺby

Nachádzajú sa medzi článkami prstov. Týchto kĺbov je deväť. Palec má jeden kĺb, ostatné prsty po dva. Každý z týchto deviatich kĺbov má zhodné usporiadanie. Hlava kĺbu je na distálnom konci predchádzajúceho článku, kĺbová jamka na

proximálnom konci nasledujúceho. Tento typ kĺbov označujeme ako kladkové. V medzičlánkových kĺboch je možné ohnutie a vystretie prstov, v proximálnych v rozsahu asi  $100^\circ$ , distálnych asi v rozsahu  $75^\circ$ . Medzičlánkový kĺb palca sa ohýba v rozsahu asi  $90^\circ$ .



Obr. 5 Medzičlánkové kĺby (typ kladkový)  
Fig. 5 Intersegment joints (roller type)

### 3. NÁVRH MODELU ĽUDSKEJ RUKY

#### 3.1. Drôtový model

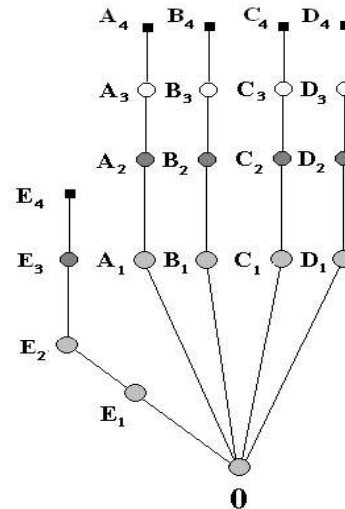
Na základe poznatkov o anatómii ľudskej ruky je možné aproximovať sústavu kostí a kĺbov podieľajúcich sa na pohybe jednotlivých prstov a palca. V predchádzajúcom boli spomenuté základné princípy. Pre aproximáciu častí ruky sa ako výhodný sa javí drôtový model [1], ktorý jednotlivé kosti nahradzuje úsečkami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

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 zápästia. Tento bod v modeli nahradzuje všetky kosti zápästia.

Úsečky  $0A_1$ ,  $0B_1$ ,  $0C_1$ ,  $0D_1$  predstavujú v navrhovanom modeli náhradu za záprstné kosti. Tieto kosti sa nedokážu samostatne pohybovať voči sebe navzájom, môžu sa otáčať len spoločne s celou rukou vzhľadom na zápästie.

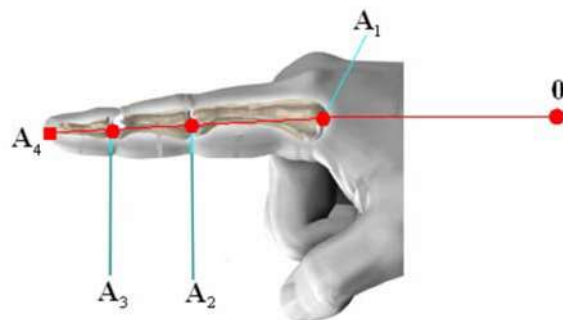
Jednotlivé prsty ruky nám aproximujú nasledujúce vetvy drôtového modelu:

- $A_1A_4$  – ukazovák (tri články  $A_1A_2$ ,  $A_2A_3$ ,  $A_3A_4$ ),
- $B_1B_4$  – prostredník (tri články  $B_1B_2$ ,  $B_2B_3$ ,  $B_3B_4$ ),
- $C_1C_4$  – prstenník (tri články  $C_1C_2$ ,  $C_2C_3$ ,  $C_3C_4$ ),
- $D_1D_4$  – malíček (tri články  $D_1D_2$ ,  $D_2D_3$ ,  $D_3D_4$ ).



Obr. 6 Drôtový model ruky  
Fig. 6 Wireframe model of human hand

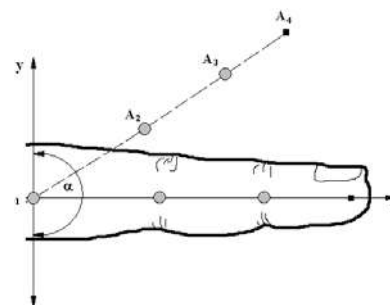
Prst je aproximovaný vetvou  $0E_4$ , pričom časť  $E_1E_2$  predstavuje záprstnú kosť palca, úsečky  $E_2E_3$  a  $E_3E_4$  predstavujú články palca.



Obr. 7 Rozmiestnenie bodov modelu na ukazováku  
Fig. 7 Model points location on forefinger

#### 3.2. Transformácie otáčania záprstnočlánkových kĺboch prstov

Umiestnenie bodov  $A_1$  až  $D_1$  je identické s umiestnením záprstnočlánkových kĺbov. V týchto bodoch je možné ohnutie a vystretie prstov v rozsahu  $+90^\circ$  až  $-90^\circ$ .



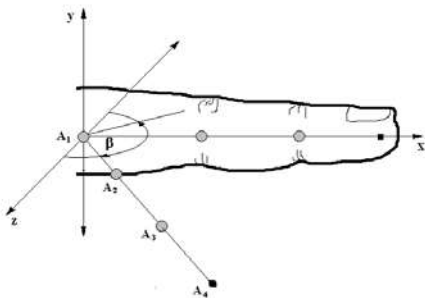
Obr. 8 Možnosti ohnutia prsta v záprstnočlánkovom kĺbe  
Fig. 8 Possibilities of finger hang in metacarpal joint

Uhol  $\alpha$  na obr. 8 znázorňuje možný rozsah otáčania prstov v záprstnočlánkových kĺboch ( $A_1$  až  $D_1$ ). Súradnice bodov  $A_2$  až  $A_4$  je možné potom určiť podľa vzťahov:

$$\begin{aligned} x(A_x) &= |A_1 A_x| * \cos \alpha \\ y(A_x) &= |A_1 A_x| * \sin \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

kde  $A_x \in \langle A_2 \div A_4 \rangle$

Vzhľadom ku skutočnosti, že tento kĺb je guľový, je možné prsty od seba vzdďaľovať a približovať v rozsahu  $\pm 45^\circ$ . Tento pohyb je znázornený na obr. 9.



**Obr. 9** Možnosti odťahovania a prit'ahovania prsta v záprstnočlánkovom kĺbe

**Fig. 9** Possibilities of tightening and draw of finger in metacarpophalangeal joint

V tomto prípade nám prst rotuje okolo osi y. Stred otáčania je v bode  $A_1$ . V praxi to znamená približovanie a vzdďaľovanie prstov od seba navzájom.

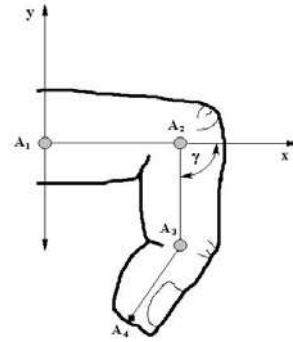
Možnosti približovania sa prstov sú obmedzené ich vzájomnou susednou polohou.

Vzdďaľovanie sa prstov od seba navzájom je limitované možnosťami napnutia svalstva a kože medzi nimi. V porovnaní s ohýbaním a vystieraním prstov poskytuje tento pohyb omnoho menšiu škálu možností aj vzhľadom na skutočnosť, že nasledujúce dva kĺby prstov sú kladkové a umožňujú len ohýbanie a vystieranie článkov prstov. Z tohto dôvodu je možné do modelu zaviesť zjednodušenie a tento pohyb nezohľadniť do celkového výpočtu, čím sa celý problém transformačných vzťahov pri pohybe jednotlivých kĺbov u všetkých štyroch prstov zredukuje na 2D problém.

### 3.3. Transformácie otáčania v medzičlánkových kĺboch prstov

Medzičlánkové kĺby v drôtovom modeli predstavujú body  $A_2, A_3, B_2, B_3, C_2, C_3$  a  $D_2, D_3$ . Ako už bolo spomenuté, sú to kladkové kĺby, teda transformačné vzťahy sa budú týkať len dvoch súradníc x a y. Hodnota z-ovej súradnice jednotlivých bodov ostáva konštantná.

Na obr. 10 je znázornený ohyb prsta v proximálnom (bližšom) medzičlánkovom kĺbe. Uhol  $\gamma$  môže nadobudnúť maximálnu hodnotu  $100^\circ$ .



**Obr. 10** Možnosti ohnutia prsta v proximálnom medzičlánkovom kĺbe

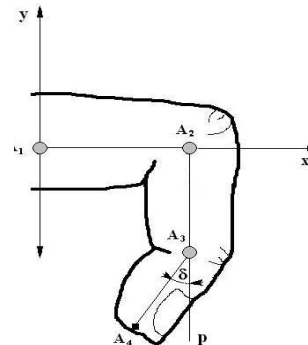
**Fig. 10** Possibilities of finger hang in proximal intersegment joint

Ohyb nastáva v bode  $A_2$  drôtového modelu, preto hodnota uhla  $\gamma$  určuje polohu nasledujúcich bodov  $A_3$  a  $A_4$  podľa vzťahu:

$$\begin{aligned} x(A_x) &= |A_2 A_x| * \cos \gamma \\ y(A_x) &= |A_2 A_x| * \sin \gamma \end{aligned} \quad (2)$$

kde  $A_x \in \langle A_2 \div A_4 \rangle$  a  $|A_2 A_x|$  je dĺžka úsečky  $A_2 A_x$

Podobná situácia je aj v distálnom (vzdialenejšom) kĺbe. Tento kĺb je umiestnený v bode  $A_3$ . Uhol  $\delta$  smeruje od priamky p, ktorá vznikne predĺžením úsečky  $A_2 A_3$  k úsečke  $A_3 A_4$ . Je obmedzený veľkosťou  $0^\circ$  v kladnom smere a  $75^\circ$  v zápornom smere.



**Obr. 11** Možnosti ohnutia prsta v distálnom medzičlánkovom kĺbe

**Fig. 11** Possibilities of finger hang in distant intersegment joint

Pre výpočet súradníc nasledujúceho bodu  $A_4$  platia nasledovné vzťahy:

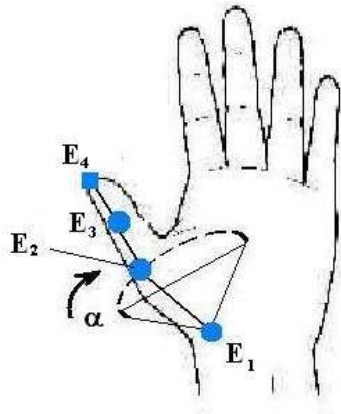
$$\begin{aligned} x(A_4) &= x(A_3) * |A_3 A_4| * \cos \gamma \\ y(A_4) &= y(A_3) * |A_3 A_4| * \sin \gamma \end{aligned} \quad (3)$$

kde  $|A_2 A_4|$  je dĺžka úsečky  $A_2 A_4$  a  $x(A_3), y(A_3)$  súradnice bodu otáčania  $A_3$ .

Bod  $A_4$  je koncový bod prsta. V reálnej ruke by sa nachádzal v strede končeka prstov.

### 3.4. Transformácia otáčania palca okolo zápästnozápästného kĺbu

Otáčanie okolo tohto kĺbu (obr. 12) nám umožňuje dostať palec do opozičnej polohy oproti ostatným prstom.



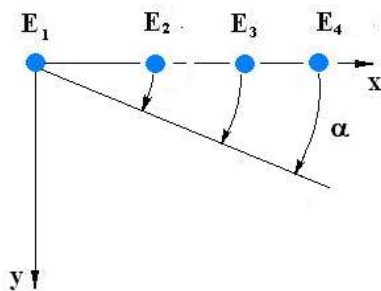
**Obr. 12** Otáčanie palca v zápästnozápästnom kĺbe  
**Fig. 12** Thumb rotation in carpal-metacarpal joint

Pre súradnice nasledujúcich bodov platia tieto vzťahy:

$$\begin{aligned} x'(E_i) &= x(E_1) * |E_1E_i| * \cos \alpha \\ y'(E_i) &= y(E_1) * |E_1E_i| * \sin \alpha \\ z'(E_i) &= z(E_1) \end{aligned} \quad (4)$$

kde  $i \in \langle 2, 3, 4 \rangle$  a  $|E_1E_i|$  je dĺžka úsečky  $E_1E_i$ .

Pohyb jednotlivých bodov pri otáčaní okolo  $E_1$  je znázornený na obr. 13.



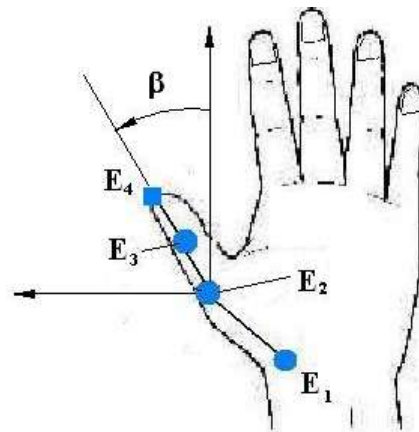
**Obr. 13** Pohyb bodov modelu palca okolo  $E_1$   
**Fig. 13** Motion of thumb model points around  $E_1$

V trojrozmernom priestore je tento rotačný pohyb rotáciou okolo osi z.

### 3.5. Transformácia otáčania palca okolo záprstnočlánkového kĺbu

Tento kĺb je guľový, teda je podľa neho možné vykonávať dva druhy navzájom na seba kolmých rotácií:

- priťahovanie a odťahovanie od osi ruky (obr. 14),
- ohýbanie a vystieranie.



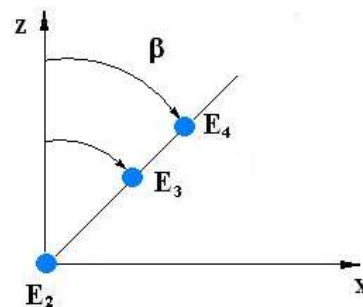
**Obr. 14** Priťahovanie a odťahovanie palca  
**Fig. 14** Tightening and draw of thumb

V implementácii modelu je aplikované priťahovanie a odťahovanie ruky. Súradnice nasledujúcich bodov  $E_2, E_3$  je možné v tomto prípade vypočítať podľa vzťahov:

$$\begin{aligned} x'(E_i) &= x(E_2) * |E_2E_i| * \sin \beta \\ y'(E_i) &= y(E_2) \\ z'(E_i) &= z(E_2) * |E_2E_i| * \cos \beta \end{aligned} \quad (5)$$

kde  $i \in \langle 3, 4 \rangle$  a  $|E_2E_i|$  je dĺžka úsečky  $E_2E_i$ .

Tento rotačný pohyb v trojrozmernom priestore predstavuje rotáciu okolo osi z. Uhol  $\beta$  v drôtvom modeli smeruje od osi z.



**Obr. 15** Pohyb bodov modelu palca okolo  $E_2$   
**Fig. 15** Motion of thumb model points around  $E_2$

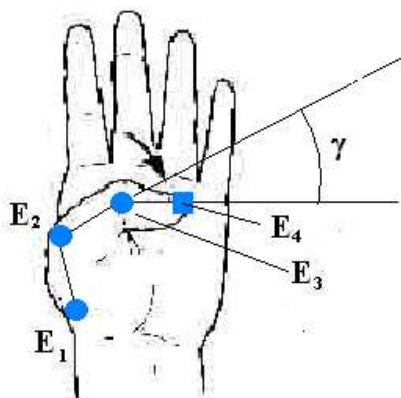
### 3.6. Transformácia otáčania palca okolo medzičlánkového kĺbu

Medzičlánkový kĺb je kladkového typu, čo znamená, že ohyb v ňom je možné vykonávať len v jednej rovine. Situáciu pri ohybe v tomto kĺbe zobrazuje obr. 16.

Súradnice koncového bodu  $E_4$  je možné vypočítať podľa vzťahov:

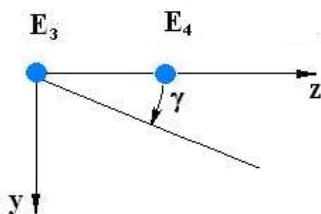
$$\begin{aligned} x'(E_4) &= x(E_3) \\ y'(E_4) &= y(E_3) * |E_3E_4| * \sin \gamma \\ z'(E_4) &= z(E_3) * |E_3E_4| * \cos \gamma \end{aligned} \quad (6)$$

kde  $|E_3E_4|$  je dĺžka úsečky  $E_3E_4$ .



**Obr. 16** Ohnutie palca v medzičlánkovom kĺbe  
**Fig. 16** Hang of thumb in intersegment joint

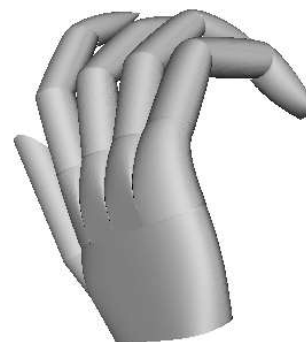
Rotácia sa v tomto prípade vykonáva okolo osi  $x$ . V skutočnej ruke je palec v kľudovej polohe natočený asi pod  $45^\circ$  uhlom v zápornom smere okolo osi  $z$ , teda tento ohyb by modifikoval všetky tri súradnice koncového bodu.



**Obr. 17** Pohyb bodu E4 (medzičlánkový kĺb palca)  
**Fig. 17** Motion of point E4 (thumb intersegment joint)

#### 4. ZÁVER

Kombináciou jednotlivých rotácií popísaných v predošlých kapitolách je možné dosiahnuť širokú škálu pozícií jednotlivých prstov a palca. Ako príklad možno uviesť úplné ohnutie ukazováka, ktoré je možné realizovať postupným ohybom podľa bodov  $A_1$ ,  $A_2$  a  $A_3$ . V tomto prípade nebolo uvažované so vzdalovaním a približovaním jednotlivých prstov k sebe navzájom. Z hľadiska pohybu palca sa ako najpodstatnejšia z vizualizačného hľadiska rotácia okolo bodu  $E_2$  drôťového modelu, ktorá predstavuje priťahovanie a odťahovanie palca k osi ruky. Napriek svojim zjednodušeniam, je tento model vhodný na vizualizáciu [11] 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. Problém popisovaný v tomto príspevku bol riešený ako časť projektu riešenia paralelných architektúr špecializovaných vysokovýkonných počítačových systémov za účelom simulácie a aplikácie skeletálneho modelu človeka v prostrediach virtuálnej reality.



**Obr. 18** Ukážka vizualizácie modelu ruky  
**Fig. 18** 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] Čihák, R.: Anatomie 1. 2. upravené a doplnené vyd. Grada Publishing, 2001. 477 s. ISBN 80-7169-970-5.
- [3] Fleischmann, J. et al.: Anatómia človeka. 1.vyd. Bratislava : SPN, 1992. 261 s. ISBN 80-08-00343-X.
- [4] 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>
- [5] Hendrickx, S.: Human Hand Simulation with Java 3D; K.U. Leuven, 1999-2003; <http://www.geocities.com/stefanhendrickx/hand/robotics.html>
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 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
- [10] Jánsky, M.: Parallel implementation environment for kinematic frame of virtual reality system solving; DCI FEI TU Košice, 1998, ps. 57 (in slovak).

- [11] Jasaň, M.: Modelovanie a vizualizácia ľudskej ruky; Diplomová práca; KPI FEI TU Košice, Košice 2004
- [12] Rossignac, J.: Geometric Simplification, ACM SIGGRAPH 96 Course Notes, Interactive Walkthrough of Large Geometric Databases, p. 117.
- [13] Sobota, B.: Príspevok k riešeniu vizualizačného rámca systémov virtuálnej reality; Dizertačná práca, KPI FEI TU Košice, Košice dec. 1998 máj 1999, ps. 117
- [14] 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

## 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.