

## Principi navideznih (virtualnih) oblačil

*Prispevek predstavlja na fizikalnih osnovah temelječ model gubanja z možnostjo animacije oblačil na navideznem (virtualnem) modelu človeka. Izdelan je realističen 3-D prikaz predstavitve oblačila, ki temelji na mehanskih lastnostih tkanine. Model je sposoben obravnavati dotike med oblačilom in animiranim telesom. Novo razvita tehnika je učinkovita in zanesljiva pri obravnavi zapletenih primerov deformacije tkanine. Opisana je tudi uporaba modela gubanja in navideznega (virtualnega) modela človeka za namene prikaza oblačil.*

*Ključne besede: 3-D prikaz oblačila, animacija oblačila, navidezni model človeka, model gubanja oblačil, deformacija tkanine*

### The Principles of Artificial Clothes for Synthetic Humans

*This paper puts forward a physical-based drape model with collision detection able to animate garments on fully-skinned virtual humans. A realistic 3-D virtual fashion show is produced, based on fabric mechanical properties and has the ability to handle the collision of clothing with an animated synthetic human. The new collision technique appeared efficient and reliable when dealing with complex cases of fabric deformation. A full implementation of the drape model, collision detection with an animated human model is also described and discussed as a tool for global retailing.*

*Keywords: 3-D virtual fashion show, the garment animation, the model of fully-skinned virtual humans, the dynamic drape model of garments, the fabric deformation*

### 1.0 UVOD

Posledica globalizacije trgov, preobčila tekstilnih in modnih izdelkov in široka dostopnost tehnologije je vse bolj zaostrena konkurenca na eni strani in vse manjši dobiček od prodaje na drugi strani. Tekstilna podjetja ne morejo več vlagati v nove proizvodne procese oziroma tehnologije. Ker so to v glavnem majhna in srednje velika podjetja, o kakšni raziskovalni in razvojni dejavnosti niti pomisliti ne morejo. Stanje se seveda lahko spremeni, če bo prišlo do združevanja manjših podjetij v večje koncerne.

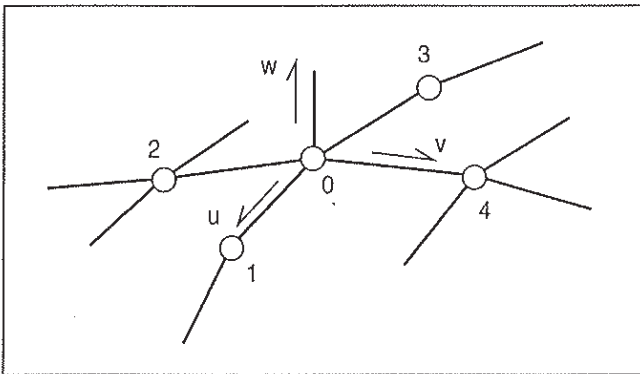
Edini način, da podjetje vzdrži v ostrem konkurenčnem boju, je razvoj lastne tehnologije, učinkovita raba le-te in inovativnost pri razvijanju novih izdelkov. Le tako bodo podjetja preživela, uspešno poslovala in rasla v novem stoletju. Prav takšno razmišljanje nas je spodbudilo, da se lotimo izdelave raziskovalnih in razvojnih programov na raziskovalnem centru Research

Centre of Excellence COMIT, na univerzi v Bradfordu. Pod skupnim imenom *Pametna izdelava tekstilij in oblačil* smo izvedli vrsto pomembnih raziskovalnih projektov, ki lahko radikalno spremenijo industrijo. Projekti se ukvarjajo s spoznavanjem in razumevanjem pomembnih interakcij med materiali, strojem in človekom z namenom, da se vzpostavi nova generacija tekstilnih in oblačilnih tehnologij. Te nove tehnologije se zavzemajo za nujno potreben lasten tehnološki koncept, ki je sam po sebi inovativen in dopušča vodstvenim in tehničnim kadrom široko ustvarjalnost pri razvoju novih aplikacij in izdelkov na njihovem področju. V tem prispevku se bomo dotaknili treh pomembnih področij. Vsako področje, če ga obravnavamo ločeno od drugih, lahko predstavlja samostojno rešitev. Če pa vsa tri področja združimo, dobimo nov način oblikovanja, prodaje in izdelave oblačil, tim. globalno trgovanje. To je danes izjemno zanimivo, saj predstavlja izziv klasičnemu načinu kupovanja, prodaje, proizvodnje in

distribucije oblačil. Ta tri področja so: simulacija in animacija oblačil in ljudi, ki jo obravnavamo v našem projektu pod naslovom *Virtualna oblačila za navidezni (virtualni) model človeka* [1], on-line izmenjava tehničnih in trgovskih podatkov, ki je tema našega projekta *Cybertex*, in dinamično optimizirani šivalni sistemi, ki jih obravnavamo v projektu *Pametni šivalni stroji* [3]. Tehnologije so na voljo v našem raziskovalnem centru Research Centre of Excellence COMIT, centru za objektivne meritve in nove tehnologije, v katerem je včlanjenih že 350 podjetij, uporabnikov teh tehnologij.

## 2.0 UVOD K MODELU GUBANJA TKANINE

Če hočemo razumeti koncept izdelave modela dinamičnega gubanja tkanin, moramo najprej model opisati. Naš pristop temelji na fizikalni analognosti s sistemom prostorske lupine (*deep shell system*). Tkanino namreč obravnavamo v začetku kot neki kontinuum oz. sistem neprekinjene lupine, nato pa maso tkanine in njene mehanske lastnosti porazdelimo na večje število vozličastih elementov spremenljive oblike, ki so lahko enako ali različno veliki. Glede na to, da tekstilni materiali kažejo makrostrukturo [4], so ti osnovni elementi precej veliki, vendar še vedno zadosti majhni, kajti majhni elementi tkanine lahko bolj natančno napovedo obnašanje tkanine.



Slika 1: Konfiguracija osnovnega elementa tkanine

Obnašanje tkanine nam ponazarja proces spreminjanja oblike (deformacije) osnovnih elementov tkanine. Kot vidimo na sliki 1, lahko deformacijo elementa tkanine ponazorimo s pomikoma  $u$  in  $v$  v smeri prvih dveh površinskih koordinat  $\alpha_1$  in  $\alpha_2$  v tangentialni ravnini ter pomikom  $w$  v smeri tretje površinske koordinate  $\alpha_3$  (normala). Lastnosti materiala kontinuuma v vseh elementih se nakopičijo v teh vozlih z združitvijo vseh energij v teh elementih. Diferencialne enačbe za izračun deformacije tkanine nato izpeljemo iz porazdelitve energij sistema na vse elemente tkanine. Upoštevajoč vse energije elementov tkanine, lahko z uporabo Eu-

ler-Lagrangeovih enačb [5], določimo splošen opis deformacije tkanine z naslednjo enačbo:

$$\frac{\partial L}{\partial \psi_i} = \sum_{k=1}^3 \frac{\partial}{\partial X_k} \frac{\partial L}{\partial (\partial \psi_i / \partial u_k)} - \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\psi}_i} \right) \quad (i=1,2,3)$$

kjer so  $\psi_i$  splošne funkcije komponente energije, ki predstavlja  $u_i$  ( $i=1,2,3$ ).

Z uporabo matričnih simbolov  $\bar{\psi}$  in  $\bar{X}$  dobimo

$$\bar{\psi} = [u \ v \ w]^T$$

in

$$\bar{X} = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3 \ t]^T$$

kjer je  $t$  časovna spremenljivka.

Pri odvodu funkcije energije v enem osnovnem elementu tkanine modela domnevamo, da se bo gostota navidezne (virtualne) energije deformacije spreminjala neprekinjeno in enakomerno v osnovnem elementu tkanine. To nakazuje na to, da je funkcija gostote energije, ki je vezana na obremenitve in deformacije, zvezna. Prav tako tudi domnevamo, da ima funkcija gostote energije zvezne odvode povsod v osnovnem elementu in da je učinek na celotno obliko tkanine, predvsem na mestih vsakega vozla, enak učinka, ki ga dobimo pri obdelavi elementa vozla-črtica.

Naš model je tudi sposoben vključiti viskoelastične lastnosti tkanin. Zato da bi natančno predstavili obnašanje tkanine, smo v splošno enačbo energije dodali tudi člene, ki opisujejo viskoelastične lastnosti tkanine.

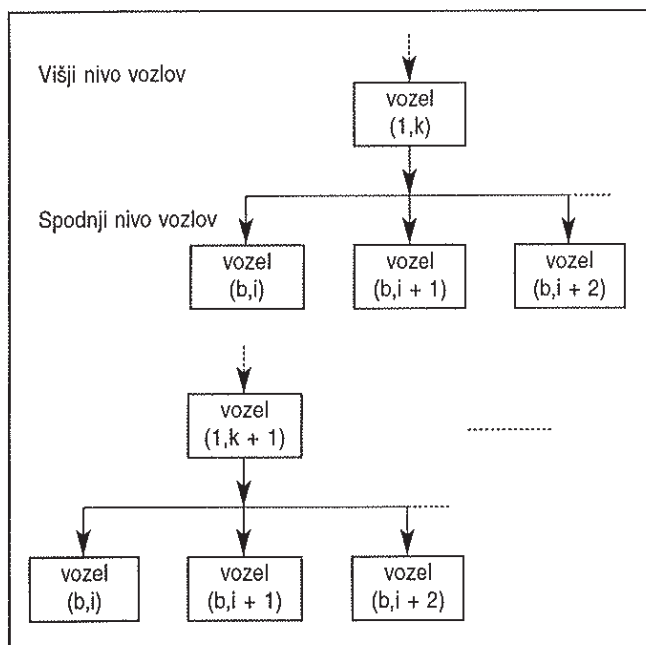
Simulacija celotnega procesa gubanja tkanine je razdeljena na več manjših zaporednih časovnih faz. V vsaki fazi se najprej določi začetni položaj vsake točke v tkanini in izračunajo vse sile, kot so težnost, mejne sile in sile dotika med tkanino in navideznim modelom človeka, tako da lahko ugotovimo vse člene energije v enačbah modela tkanine. Nato uporabimo postopek minimaliziranja energije, da ugotovimo nove položaje pri vsaki točki tkanine.

## 2.1 Odkrivanje dotika (kolizije) med oblačilom in modelom človeka

Eden glavnih problemov pri izdelavi modela dinamičnega obnašanja tkanin v oblačilih so učinkovanja med tkanino in navideznim (virtualnim) modelom človeškega telesa. Temu pravimo odkrivanje dotika – kolizije (*collision detection*) in odziv na dotik – kolizijo (*collision response*), ki vplivata na gibanje oblačil, ki jih nosi navidezni model človeka. Če primerjamo dotik tekstilnih materialov z dotikom na drugih področjih računalniške animacije, je dotik tkanine veliko bolj kompleksen in težaven zaradi več razlogov. Model gubanja tkanine namreč zajema veliko število elementov tkanine, zato je odkrivanje kolizije precej zamudno

opravilo. Ker so tekstilni materiali podvrženi kompleksnim in velikim deformacijam, ki so videti nelinearne, viskoelastične in časovno pogojene, je klasični pristop kontinuuma neprimeren za izdelavo modela tekstilnih materialov, saj lahko pride do problemov, kot so stabilnost, raznolikost in natančnost modela. Primeren pristop bi bil tak, ki združuje kompleksne lastnosti tekstilnih materialov in lahko zanesljivo in učinkovito odkriva kolizijo. Tak pristop bi moral biti tudi sposoben obravnavati različna deformacijska stanja, npr. dinamično gibanje, raztezanje itd.

**Hierarhična podatkovna baza:** Da bi izboljšali učinkovitost odkrivanja dotika (kolizije), smo v našem sistemu uporabili hierarhično strukturo podatkov. V principu določimo najvišje točke površine oblačila glede na hierarhično strukturo, prikazano na sliki 2. Dotik se bo začel na najvišjem nivoju vozlov in na tej stopnji bo dodana meritev. Če se doseže distančni prag, kar pomeni, da lahko pride do potencialnih kolizij na spodnjih nivojih vozlov, bo sistem iskal naprej na nižjem nivoju vozlov. Enak princip bo uporabljen na vsakem nivoju, razen na najnižjem. Če prag ni dosežen, bo sistem preskočil iskanje na nižjih nivojih vozlov.



Slika 2: Hierarhična podatkovna struktura oblačila

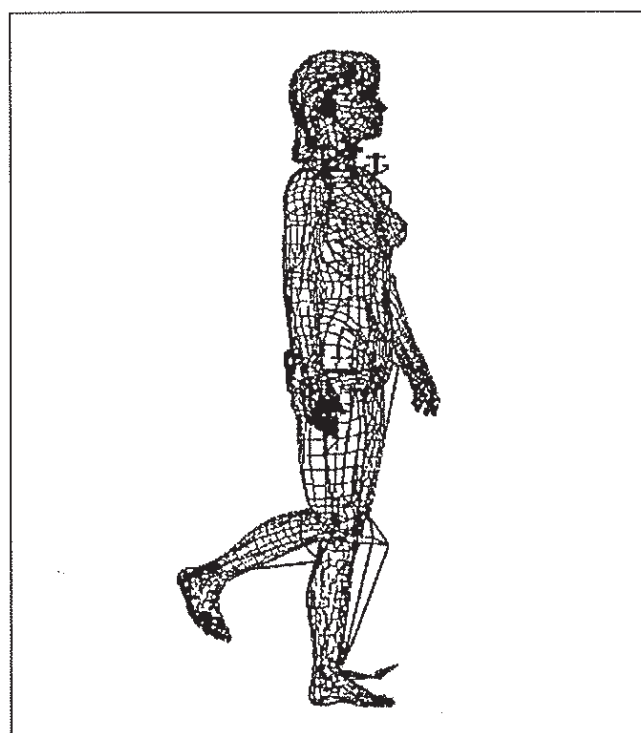
### 3.0 IZDELAVA NAVIDEZNEGA MODELA ČLOVEKA

Pri izdelavi modela animiranega navideznega modela človeka je treba upoštevati naslednja opravila:

a) Razvoj animiranega skeletnega modela človeškega telesa z vgrajenimi podatki gibanja, ki ga lahko uporabimo za simulacijo prave mačje hoje in je sposoben animirati kožni (površinski) model človeškega telesa.

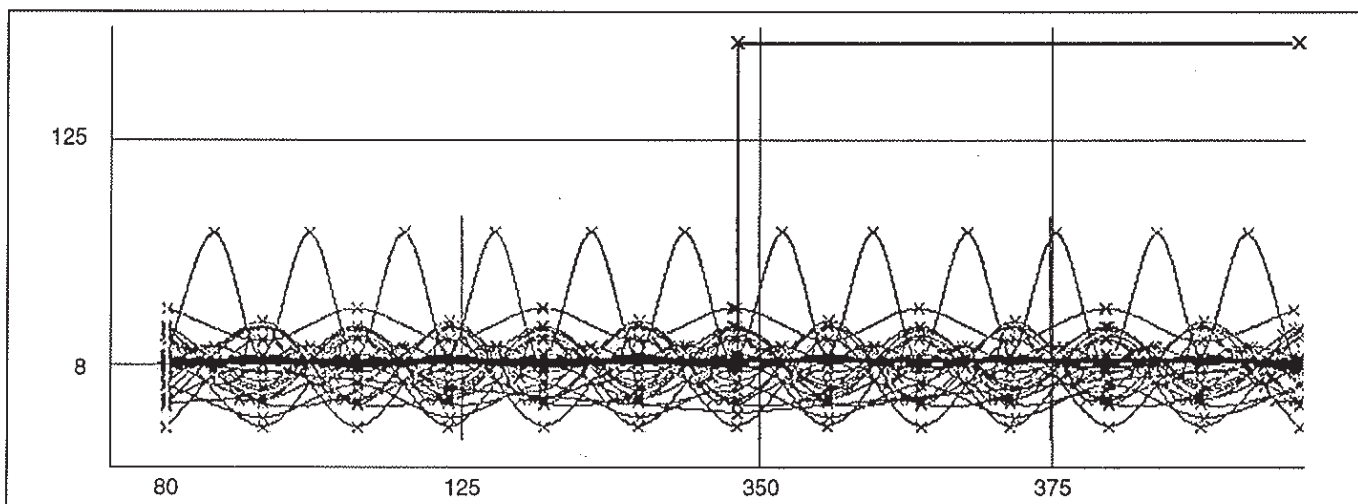
b) Razvoj kožnega (površinskega) modela človeškega telesa, ki ga lahko animira gibanje skeleta.  
c) Metoda za predstavitev podatkov oblike modela človeka, ko je telo v gibanju.

Pri izdelavi navideznega modela človeka smo najprej razvili skeletni model, ki ga lahko štejemo kot poseben sistem povezav, podobno kot pri robotu ali mehanskem manipulatorju. Veliko raziskav je že bilo narejenih v zvezi z izdelavo modela človeškega telesa [6,7,8,9] in raziskovalci poskušajo ponazoriti kompleksno gibanje telesa čim bolj natančno in učinkovito. Toda nas v prvi vrsti zanima dinamično obnašanje tkanine, za kar zadostuje že razmeroma enostaven model animacije. V sedanji fazi je naš navidezni model človeka sposoben izvajati določene osnovne telesne gibe, kot sta ženska in moška hoja, tek in mačja hoja. Model skeleta, ki ga uporabljamo, je sestavljen iz 22 telesnih segmentov, razvrščenih po skupinah vrtljivih sklepov, od katerih ima vsak tri proste stopnje. Gibanje skeleta se izračuna po kotih sklepa in njegovi referenčni točki. Slika 4 prikazuje primer krivulj gibanja sklepov skeleta v določenih časovnih intervalih. Te krivulje gibanja se nato generirajo v lokalnem koordinatnem sistemu glede na položaj in orientacijo zgornjega sklepa v hierarhični strukturi.



Slika 3: Primer navideznega kožnega (površinskega) modela ženskega telesa

Da bi izdelali realistično obliko telesa in njegovih gibov, smo pri našem delu uporabili dejanske telesne mere. To je osnovna zahteva za izdelavo modela gibanja oblačila, kot ga nosi navidezni model človeka. Nato smo na skelet pritrdili kožo glede na telesne



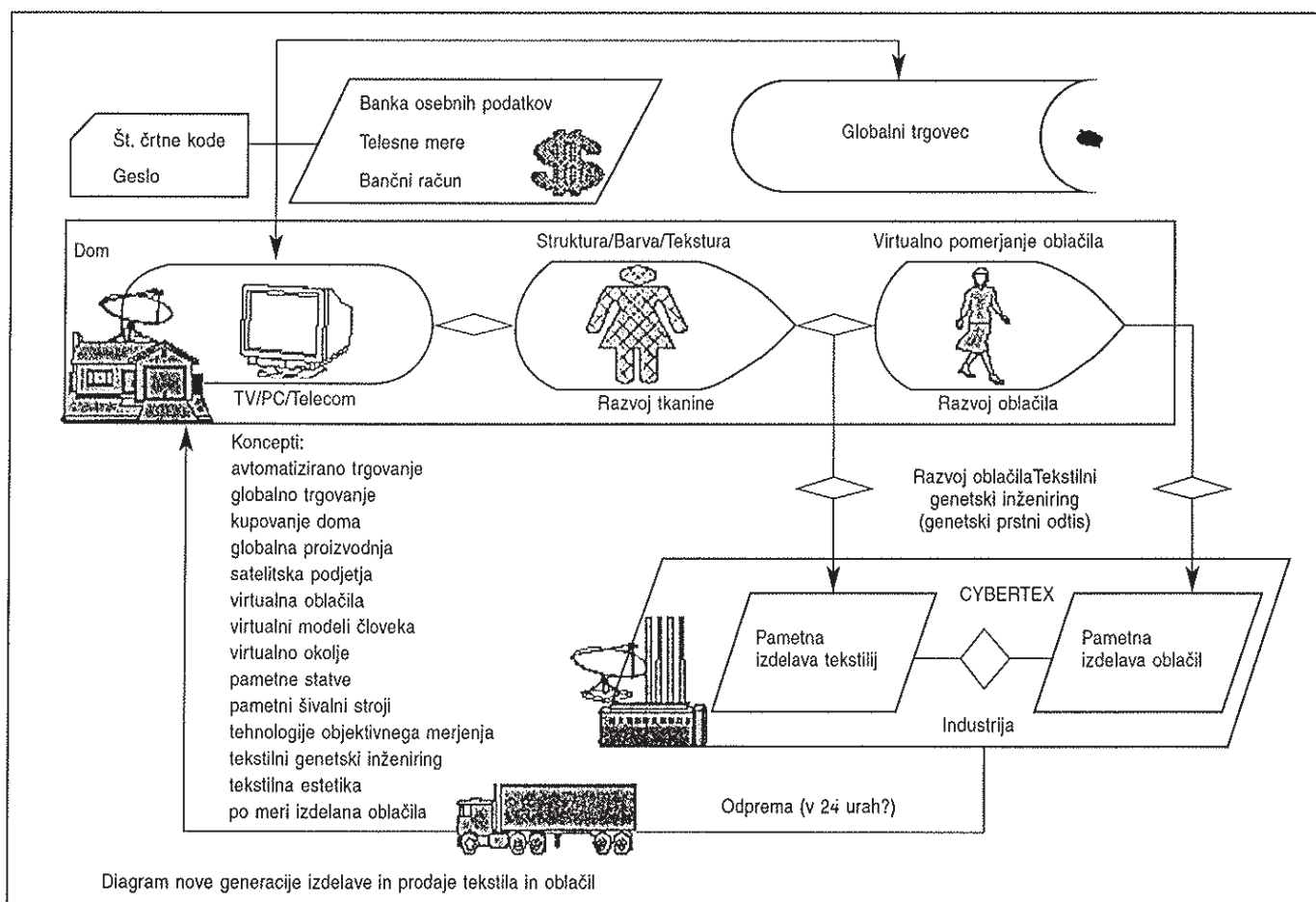
Slika 4: Primer skupka krivulj gibanja

mere. Gibanje telesa smo realizirali z animacijskimi tehnikami (*key-frame*) [9]. Slika 3 prikazuje virtualno, s kožo pokrito žensko telo z animiranim skeletom.

#### 4.0 IZVEDBA: KONCEPT GLOBALNE TRGOVINE

Animacijo oblačila lahko razdelimo v dva procesa. Prvi je gibanje oblačila glede na 3-D obliko telesa na

videznega človeka. Končna oblika oblačila je odvisna od mehanskih lastnosti materiala, oblike telesa in vzorca oblačila. Drugi proces je gibanje tkanine, ki ga proizvaja animirani navidezni človek, saj oblika tkanine skuša slediti gibanju telesa. V našem prispevku smo izvedli in predstavili dva primera. Na sliki 6, a in b, je prikazana predstavitev oblačila iz mehkega materiala. Model kril, prikazanih na teh slikah, je izdelan z uporabo 1440 (20 x 72) vozlastih elementov spremenljive

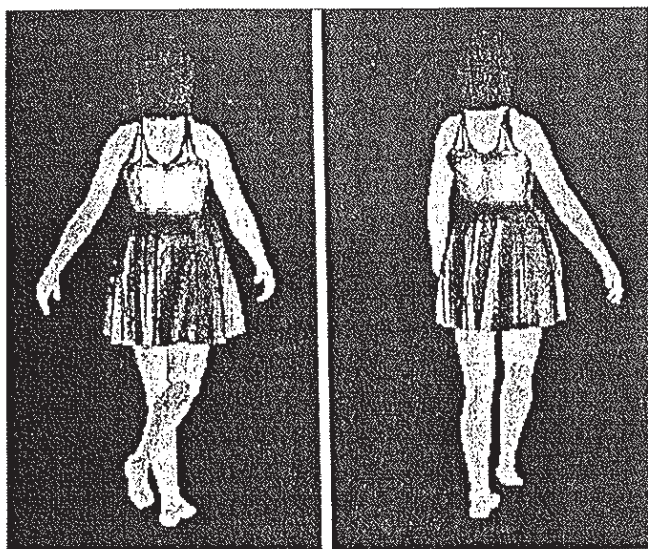


Slika 5: Globalna trgovina

oblike. Model je realiziran v programskem jeziku C++ z Alias Openmodel Library, delo je bilo izvedeno na delovni postaji SGI Indigo 2.

Nova filozofija 21. stoletja bo temeljila na konceptu »živeti brez meja« [2], zato bodo tudi podjetja morala »globalno konkurirati«. Potrebna tehnična infrastruktura za globalno trgovino je zagotovljena, treba pa bo prestrukturirati industrijo in zagotoviti nove možnosti v kupnih metodah potrošnikov in nove priložnosti v dobaviteljski verigi.

Podjetniške strategije že silijo podjetja v razvoj elektronske trgovine oziroma »nakupovanja prek žice« in mnoga podjetja so se že vključila. Prišel bo čas, ko se bomo v udobju svojega doma odločali o nakupu oblačila. Diagram na sliki 5 prikazuje on-line povezavo med tim. globalnim trgovcem, našim domom in tekstilno industrijo. Po meri izdelano oblačilo bo možno dobiti že v dveh dneh. Tudi čas navideznega pomerjanja oblačila ni več daleč. Naše delo na področju izdelave 3-D modela je dalo Jill, prvo navidezno manekenko.



Slika 6: 3-D prikaz predstavitve oblačila

## 5.0 SKLEP IN NADALJNJE DELO

Opisali smo pristop izdelave modela gubanja tkanine in njegov dinamični učinek. Naš model temelji na fizični analognosti s sistemom prostorske lupine. Poglavitna prednost tega modela pred drugimi modeli je, da njegova konfiguracija sloni na površinskem koordinatnem sistemu in da uporablja mehanske parametre tkanine. Predstavili in uporabili smo novo tehniko kolizije – dotika. Le-ta se je izkazala na našem modelu tkanine kot zanesljiva in sposobna obravnavati kompleksne deformacije oblačil med hojo pri uporabi navideznih kožnih – površinskih modelov ljudi. Naš namen je zagotoviti nove generične metodologije za oblikovanje oblačil.

Model tkanine, ki ga razvijamo, bi moral biti primeren za različne tekstilne materiale. Tako bi lahko ljudje izbirali vzorec oziroma oblačilo glede na svoje posebne zahteve, vzpostavila pa bi se tudi osnova za naslednjo generacijo CAD sistemov za modno oblikovanje in oblačilno industrijo. V bližnji prihodnosti že lahko pričakujemo, da bomo kupovali kar iz domačega naslonjača. Ljudje bodo imeli možnost navideznega pomerjanja oblačil po svojih telesnih merah. In ko smo že pri izdelavi izbranega oblačila, povejmo, da smo že razvili pametne šivalne stroje [3], ki znajo samodejno uporabljati optimalne podatke za šivanje določenega tipa tkanine.

## Viri:

- [1] STYLIOS, G., WAN, TR. in POWELL, NJ. Modelling the dynamic drape of garments on synthetic humans in a virtual fashion show. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1996, vol. 8 no. 3, p. 95–112.
- [2] STYLIOS, G. Living without frontiers : the global retailer. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1995, vol. 7, no. 4, p. 5–8.
- [3] STYLIOS, G. in SOTOMI, OJ. A Neuro-fuzzy control system for intelligent sewing machines. *Intelligent Systems Engineering, IEE Publication*, 1994, no. 395, p. 241–246.
- [4] LLOYD, DW. The analysis of complex fabric deformation, in mechanics of flexible fibre assemblies. Edited by JWS. Hearle, JJ. Thwaites in J. Amirbayat. V *NATO Advanced Study Institute Series E : Applied Science*, 1988, no. 38, Sijthoff and Noordhoff, p. 311–342.
- [5] MOISEWITSCH, BL. *Variational Principles*. London : John Wiley & Sons, 1966.
- [6] BADLER, NI. Animating human figures : perspectives and directions. V *Graphics Interface '86 : proceedings*, 1986, p. 115 – 120.
- [7] BOULIC, R., THALMANN, NM. in THALMANN, D. A global human walking model with real-time kinematic personification. *The Visual Computer*, 1990, vol. 6, no. 6, p. 344–358.
- [8] BRUDERLIN, A., TEO, CT. in CALVERT, T. Procedural movement for articulated figure animation. *Computer Graphics*, 1994, vol. 18, no. 4, p. 453–461.
- [9] STURMAN, D. Interactive keyframe animation of 3-D articulated models. V *Graphics Interface '86 : proceedings*, Tutorial on Computer Animation, 1986.

Prevod: Marinka Mrak

Prispevek je bil posredovan na 2. mednarodni konferenci IMCEP '97 v Mariboru, 8.-10. oktobra 1997

Prispelo/Received 12-1998; sprejeto/accepted 12-1999