

TECHNOLOGIES OF COMPUTER  
CONTROL

## DATORVADĪBAS TEHNOLOĢIJAS

## SEVERAL ALGORITHMS FOR NURBS OBJECT AUTOMATIC FORM EXCHANGE

## DAŽI ALGORITMI NURBS OBJEKTU AUTOMĀTISKAJAI FORMAS MAIŅAI

**Ivars Kivlans**, Doc., M.sc.ing.  
Riga Technical University,  
Faculty of Computer Science and Information Technologies,  
Address: Meza str.1, LV-1658, Riga, Latvia,  
E- mail: kivlans,Ivars@egle.cs.rtu.lv

*Atslēgas vārdi: Virtuālās realitātes modelēšana, NURBS*

## 1. Ievads

Pasaulē ļoti strauji aug datoru un video karšu ātrdarbība, palielinās informācijas pārraides ātrumi tīklā, tomēr šodien esam tālu līdz reālās pasaules reālistisku modeļu un scēnu izveidošanai un interaktīvai cilvēka darbībai tajos. Vislabākajās datorspēlēs vienlaicīga kustība un formas maiņa trijās dimensijās vērojama ne vairāk kā trim personāžiem. Grafisko karšu konveijeri nespēj izskaitļot savstarpējo apgaismojumu vairāk kā diviem objektiem standartā vai trijiem speciālās bibliotēkās. Internetā joprojām tikai sākuma stadijā ir triju dimensiju objektu pārdošana ar reālām cilvēka iedarbes uz objektu iespējām. Iemesli ir tie paši vecie: lēna atveidošana(video kartes dēļ), lēna ielāde(tīkla pārraides ātrums par mazu), lēna sistēmas reakcija uz cilvēka iedarbēm(datora ātrdarbība plus abi iepriekšminētie). Viens no ātrākajiem paņēmieniem virsmu vai brīvas formas objektu pārraidē pa tīmekli ir virsmas vadošo punktu tīkla un parametru pārraide ar sekojošu virsmas atveidošanu, izmantojot NURBS tehnoloģiju. Tālāk, sadarbojoties klienta un servera programmatūrai, interaktīvi ir iespējams aplūkot telpiskos objektus no visām pusēm, veikt iedarbes uz tiem (deformēt) un iegūt jaunus telpiskos rezultātus [1]. Šādā pieejā galvenā NURBS priekšrocība ir spēja ar vienu un to pašu matemātisko aparātu aprakstīt dažādus objektus, iespējas mainīt objekta virsmu, ievietot apgabalus virsmā ar citādu ģeometrisko izskatu, bet saglabājot kopējo vienotu virsmas vadošo punktu tīklu, t.i., to pašu aprakstu. Problēma ir sarežģītais matemātiskais nodrošinājums un joprojām nepietiekamā datoru jauda, kā arī automātisku brīvas formas objektu izmaiņu metožu un algoritmu trūkums. Darbā[2] tika aplūkota virsmu automātiska salīdzināšanas metode un galvenais secinājums bija tāds, ka ir jānovērš pārdaudzuma kods algoritmā, balstoties uz NURBS īpašību algoritmizāciju un inteliģentu metožu izveidi lietotāja vajadzībām. Darbā tiek apskatīti daži risinājumi šai problēmai.

## 2. Līkņu un virsmu automātiskas formas maiņas metodes

Problēmas nostādne. Dota viena NURBS(ang. non uniform rational base spline) virsma ar p vadošajiem punktiem un mezglu vektoru  $T[3]$ ,

$$X(u, v) = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} P_{i,j} w_{i,j} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v)}{\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} w_{i,j} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v)}, \quad (1)$$

kur  $X(u, v)$  – rezultējošā virsma ,

$P_{i,j}$  – vadošo punktu koordinātes telpā ,

$N_{i,k}(u)$  neracionāla B-splainu funkcija parametriskajā virzienā  $u$  ,

$N_{j,l}(v)$  neracionāla B-splainu funkcija parametriskajā virzienā  $v$  ,

$n$  – vadošo punktu skaits parametriskajā virzienā  $u$  ,

$m$  – vadošo punktu skaits parametriskajā virzienā  $v$  ,

$k$  – virsmas kārtā parametriskajā virzienā  $u$  ,

$l$  – virsmas kārtā parametriskajā virzienā  $v$  ,

$w_{ij}$  – svaru funkcijas katram vadošajam punktam.

### 3. Metode1. Līkņu un virsmu salīdzināšanas metode

Aplūkosim divu virsmu (vai līkņu, ja atmet 1.punktu) salīdzināšanas algoritmu, kas to dara automātiski. Rupjš caurskatīšanas algoritms, neko neatmetot un neoptimizējot, pa soļiem izskatīsies šādi:

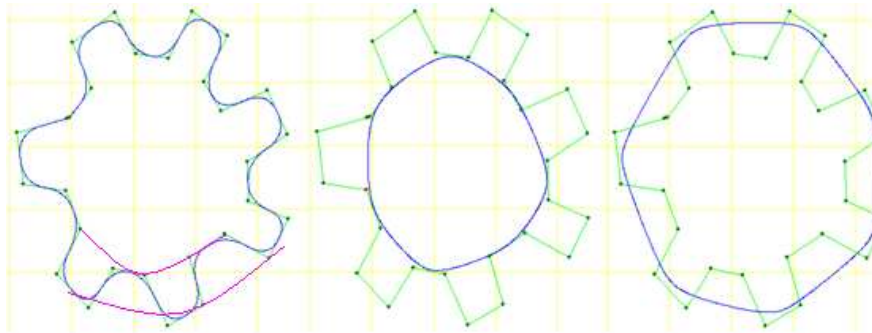
1. Izveidot ciklu pa visām līknēm.
2. Izveidot ciklu pa visām līknes kārtām.
3. Izveidot ciklu pa visu svaru funkciju diapazonu ar noteiktu soli (ja solis izrādīsies par lielu to nāksies dalīt, ja par mazu , tad pārāk ilgi skaitļos un vāji mainīsies līkne).
4. Izveidot visas iespējamās svaru kombinācijas katram vadošajam punktam.
5. Izrēķināt visas līknes , pie visām svaru kombinācijām.
6. Izrēķināt kļūdas starp abām līknēm pie visām svaru funkcijām.
7. Novērtēt kļūdas visai virsmai.

Šāds teorētisks pārdaudzuma kods dos rezultātu „līdzīgām” līknēm un virsmām, tas ir tādām, kur salīdzināmajai līknei nebūs lielāks attiecīgo minimumu un maksimumu skaits nekā dotajai un salīdzināmā līkne ietilps dotās līknes konveksajā apgabalā. Šādi nosacījumi izriet no NURBS īpašībām. Šeit neaplūkosim kļūdas novērtējumu un pārliekumu ietekmi uz precizitāti, kas ir atsevišķa raksta vērts. Paradoksāli, bet fakts, ka minimumu vai maksimumu var nogludināt ar svaru funkcijām, bet jaunus radīt var tikai ievietojot jaunus vadošos punktus tīklā. Tieši pedējā iemesla dēļ ir izstrādāta virsmas apgabala automātiskas izmaiņšanas metode-Metode2, kura tiek aplūkota zemāk, un kurai ir daudzi citi lietojumi. Problēmu sarežģī tas, ka var izveidot dažādus līknes aproksimācijas algoritmus un līdz ar to dažādus vadošo punktu tīklus pēc apjoma, kas ietekmēs precizitāti un skaitļošanas apjomus.

Lai realizētu metodes ir nepieciešama programmatūra formulas (1) universālai realizācijai un pirmā versija IKSIIKNE tika izveidota 1996.gadā uz Pentium1 valodā Delphi2. Jāatzīmē, ka standartbibliotēkā OpenGL procedūras gluNURBScurve un gluNURBSSurface domātas tikai normalizētas virsmas izskaitļošanai bez svaru funkcijām un rada virkni problēmu šeit minēto uzdevumu risināšanai. Darbā aplūkoto metožu realizācijai ir izveidotas programmas IKS VIRSMA un IKSAPGABALI, kurās realizēts De Boora algoritms līkņu izskaitļošanai, izveidotas vairākas virsmu izskaitļošanas procedūras un realizētas daudzas NURBS īpašības, bet grafiskā bibliotēka OpenGL tiek izmantota tikai redzamības noteikšanai attiecīgajai projekcijai un grafiskā interfeisa izveidei objektu atveidošanā.

Aplūkosim divu līkņu salīdzināšanas piemēru, kurā pilns salīdzināšanas algoritms tiek nomainīts ar dotās līknes konveksā apgabala noteikšanu minimālajai un maksimālajai līknes kārtai un svaru funkciju automātisku piekombinēšanu attiecīgajai kārtai. Jaunais algoritms balstās uz šādām NURBS

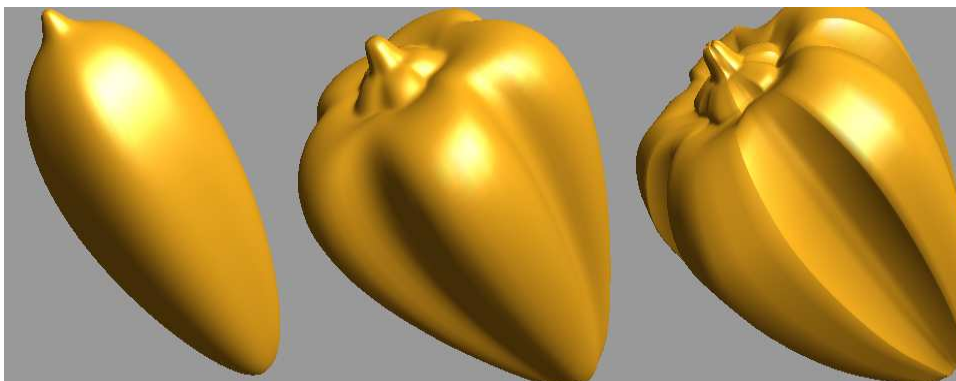
Īpašībām: a) jebkurš līknes minimums vai maksimums tiecas uz attiecīgo tīkla vadošo punktu, palielinot tā svaru, b) minimumam vai maksimumam blakus stāvošo punktu svaru palielināšana nolīdzina šo minimumu vai maksimumu, c) līknes kārtas samazināšana līkni ceļ uz augšu, bet palielināšana bīda uz leju. Šādus algoritmus saucim par inteligētiem algoritmiem. Inteligēts algoritms- tāds, kurš dara to, ko grib redzēt cilvēks, nevis teorētiski izskaitļo matemātisku funkciju. Lieta tāda, ka mēs darbojamies ar reāli saprotamiem objektiem līknēm un virsmām, tas ir tādiem, kuriem ir ģeometriskā interpretācija, bet NURBS tehnoloģija un formula(1) darbojas n-dimensiju telpā. Praktiski tas nozīmē, ka varam uzkonstruēt līkni, piemēram, telpā, kura pati krustosies n reizes un tāpat var izveidot objektus no šādām līknēm, kuros cilvēks nesaskatīs jēgu.



**1.att.** a) Dotā līkne      b) Nogludinātā līkne  $w = \text{var}$       c) Līkne  $k=3$ ,  $w = \text{var}$   
**Fig.1.** a) Given curve      b) Smooth curve  $w = \text{var}$       c) Curve  $k=3$ ,  $w = \text{var}$

1.attēlā izveidota trešās kārtas NURBS līkne ar speciāli ne vsai simetrisku zobrauta veidu. Kā testa piemēru programmai ir jāatrod visgludākā līkne, tāda līkne tiek atrasta visiem vadošajiem punktiem pie līknes minimumiem piekārtojot maksimālu svaru kombināciju visaugstākajai iespējamai līknes kārtai. Šajā piemērā inženierim pie neliela vadošo punktu skaita tas ir acīmredzami, bet sarežģītos gadījumos cilvēks nespēs pat novērtēt rezultātu, kur nu vēl ar roku kādā paketē pārveidot virsmu. Tātad automātiski varam salīdzināt visas līknes no vislielākās, trešā kārtā un mainīgi svāri skat. 1.c)attēlu, un līdz vismazākajai, kur kārtā maksimālā un svāri mainīgi skat. 1.b)attēlu, ar doto līkni 1.a)attēlā, kur ar lillā krāsu nosacīti iezīmēta salīdzinājamo līkņu josla, kura ir mainīga pie dažādām kārtām.

Tālāk aplūkosim virsmu salīdzināšanas piemēru. Kā testa piemēru ņemsim objektu-pipars, kura modelis ir 5 kārtas NURBS tīkls ar vairāk kā 300 vadošajiem punktiem ar dažādu vadošo punktu skaitu divos parametriskajos virzienos.



**2.att.** Virsmu salīdzināšanas piemērs  
**Fig.2.** Example of surface comparisons

2.attēlā kreisajā pusē ar automātisku virsmu salīdzināšanas metodi programma IKS VIRSMAS ir uzkonstruējusi objektu-pipars ar augstāko kārtu  $k=14$  parametriskajā virzienā  $u$  un  $k=24$  virzienā  $v$ , ar

mainīgiem svāriem  $w_{ij}$ . 2.att. vidū ir atveidota dotā 5 kārtas virsma, bet 2.att. labajā pusē ir uzkonstruēta virsma ar mazāko kārtu un mainīgiem svāriem  $w_{ij}$ . Varam teikt, ka esam izveidojuši modeli piparu zortēšanai no gludākā līdz rupjākajam visiem objektiem-pipariem, kuri ietilpst dotā objekta konveksajā apgabalā un atbilst dotā objekta vadošo punktu tīklam. Ir skaidrs, ka ar standarta paketi vai grafisko redaktoru, kurš ļautu apstrādāt augstu kārtu virsmas, noteikt objektu atšķirības ar roku praktiski neiespējami, un jāņem vērā, ka cilvēks var kļūdīties, bet telpā kļūda nebūs pamanāma. Nākošā problēma rodas tad, ja salīdzināmajam objektam ir, piemēram, izcilnis vai pumpa, kuri iziet ārpus konveksā apgabala. Vispārīgā gadījumā apgabals var būt ar pavisam citu ģeometrisku interpretāciju. Tādā gadījumā uz virsmas ir jāmaina apgabals un jārekonstruē vadošo punktu tīkls. Šim nolūkam paredzēta Metode2.

#### 4. Metode2. Virsmas apgabala automātiska izmaiņas metode.

Automātiska NURBS virsmas apgabala izmaiņšana, pēc uzdotām virsmas punktu koordinātēm ārpus konveksā poliedra robežām, saglabājot vai izmainot virsmas veidu ārpus apgabala, un obligāti saglabājot vienotu visa objekta vadošo punktu tīklu. Metode satur šādas galvenās daļas:

- Virsmas apgabala un robežnosacījumu uzdošana,
- Jauno apgabala punktu uzdošana no datu avota,
- Jauno apgabala vadošo punktu izskaitļošana (apgrieztais NURBS uzdevums),
- Virsmas apgabala ievietošana objekta virsmā, ievērojot iepriekšējos tīkla parametrus un uzdotos robežnosacījumus.

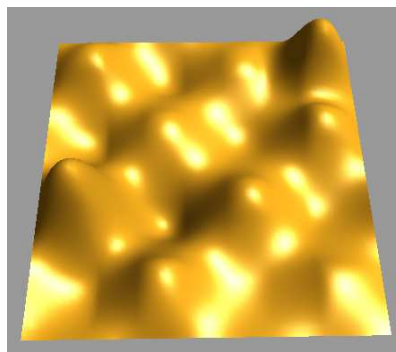
#### Algoritma apraksts

Dots objekta virsmas apgabals ar  $n$  un  $m$  vadošajiem punktiem divos virzienos.

Uzdevums. Izmainīt virsmas apgabalu:

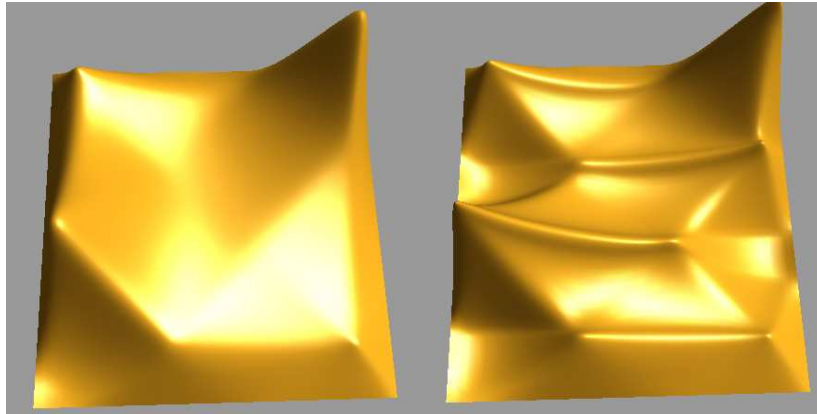
- saglabājot vadošo punktu tīkla izmērus, ja tas iespējams, citādi
- iestarpināt nepieciešamo vadošo punktu skaitu un rekonstruēt visu objektu
  - Ciklā pa visām līnijām atrast visu maksimumu un visu minimumu koordinātes.
  - Ciklā pa visu vadošo punktu tīklu divos virzienos noteikt maksimumu un minimumu skaitu starp katriem trim vadošajiem punktiem.
  - Ja starp katriem trim vadošajiem punktiem ir vairāk kā 1 minimums vai maksimums, tad tīklu papildina ar  $\max + \min - 1$  vadošo punktu līnijām abos virzienos.
  - Citādi, ciklā pa visām līnijām atrod jaunās vadošo punktu koordinātes visiem minimumiem un maksimumiem.
  - Ciklā pa visām līnijām pielieto metodi1, piekārtojot nepieciešamos svarus.

Raksta ietvaros neaplūkosit matemātisko aparātu Metodes2 realizācijā, bet aplūkosit programmas IKSapgabali dažus darbības piemērus.



3.att. Kontrolapgabala ģenerētais piemērs  $k=3$   $w=1$

Fig.3. Control region generated example  $k=3$   $w=1$

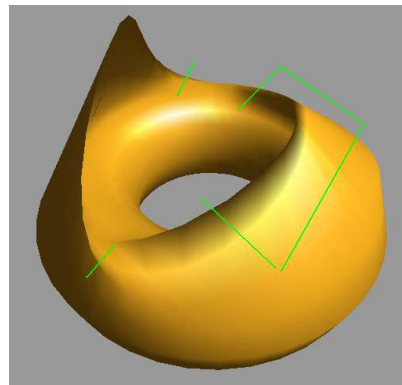


**4.att.** Apgabala izmaiņu pārbaude: a)  $k=8$ ,  $w_{ij} = \max$ , b)  $k=8$ ,  $w_i = \max$ ,  $w_j = \min$   
**Fig.4.** Examination of region change: a)  $k=8$ ,  $w_{ij} = \max$ , b)  $k=8$ ,  $w_i = \max$ ,  $w_j = \min$

3.attēlā redzamajam piemēram tiek izveidots 8 kārtas modelis un 4.attēlā parādīta svaru ietekme abos virzienos un vienā virzienā b) variantā. Parādās problēma ar apgabala robežām, jo tā robežlīknes nav uz horizontālās plaknes. Ir vairāki veidi, atkarībā no uzdevuma, kā ievietot apgabalu virsmā:

- 1) nolīdzināt virsmu ar apgabalu, tad apkārt apgabalam virsma mainīs savu veidu,
- 2) nolīdzināt apgabalu tā, ka tas sakrītīs ar apkārtējo virsmu, (literatūrā gandrīz vienmēr tiek aplūkots šis visvienkāršākais gadījums apgabalu apstrādes teorijā),
- 3) izveidot krasu, bet ne ideāli asu pāreju starp apgabala robežu un virsmu.

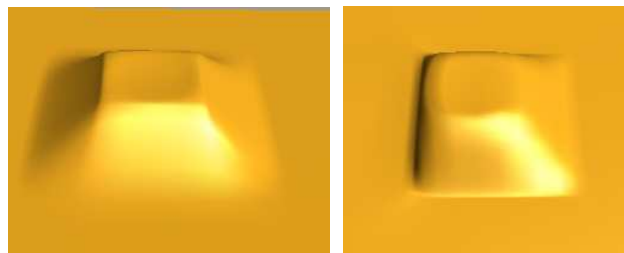
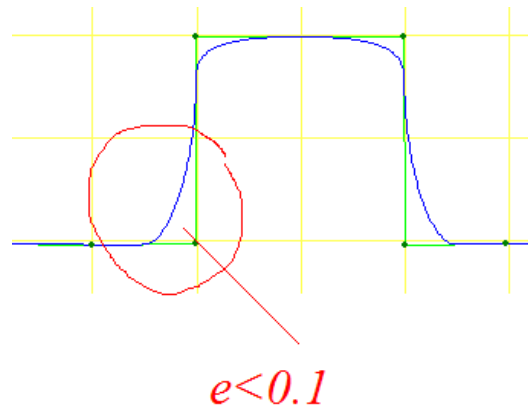
Pirmo un trešo gadījumu aplūkosim ar piemēriem.



**5.att.** Līknes ievietošana un apgabala ievietošana uz tora virsmas.  
**Fig.5.** Commital of curve and committal of region to tors' surface

5.attēlā kreisajā pusē ir ievietota līkne pa vienu izoparametrisko līniju, bet labajā pusē ievietots taisnstūra veida apgabals ar pirmā veida robežnosacījumiem.

Pielietojot trešā veida robežnosacījumus ir izveidots inteligēnts algoritms, jo rodas problēma ar asu pāreju matemātiku. Matemātiskais modelis izskaitļo bezgalīgi plānu virsmu un to nogriežot, piemēram, ar standarta OpenGL procedūru bieži nāksies iegūt caurumu virsmā un tad domāt ko darīt tālāk. Cilvēks nespēj iedomāties, ka virsmai nevar noņemt plānu kārtiņu saskaņā ar virsmu teoriju. Tāpēc, lai nebūtu caurumu, tiek izmantota izoparametrisko līniju matemātiska savietošana no ārpuses, bet z-buferis grafiskajā konveijerā attēlo pēdējo līniju un caurumu efekta nebūs.



**6.att.** Virsmas kreisās puses asā pāreja.  
**Fig.6.** Sharp transition of surface left side

6.attēlā parādīta relatīva precizitātes  $e < 0.1$  uzdošana apgabala virsmai, pie kuras virsmu neskaitļot no vienas apgabala malas virzienā u, tādējādi panākot asuma efektu uz objekta robežas. Vēl grūtāk ir automatizējams robežnosacījums, kad virsma ir jārēķina, bet saglabājot noteiktu precizitāti uz robežas.

## 5. Rezultāti

Aplūkoto telpisko objektu automātiskas virsmas maiņas paņēmieni realizāciju nodrošina šādas komponentes:

- Izstrādāta līkņu un virsmu salīdzināšanas metode(Metode1)
- Izstrādāta objektu apgabalu izmainīšanas metode(Metode2)
- Metode1 realizēšanu veic izveidotās programmas IKSLIKNES un IKSVIRSMAS .
- Metode2 realizēšanu veic izveidotās programmas IKSVIRSMAS un IKSAPGABALI.
- Izstrādāti daži apgabala robežnosacījumu uzdošanas un realizācijas algoritmi.

Izveidotie piemēri rāda, ka ir iespējama augstāku kārtu NURBS objektu apstrāde un vizualizācija uz vienprocesora datora ar dažu simtu vadošo punktu tīklu modeļiem. Apgabala aizmainīšana ar tīkla reorganizāciju, nodrošinot dažādu robežnosacījumu izpildi, prasa lielus skaitļošanas resursus un šobrīd ir izpētes stadijā. Pasaulē tiek aktīvi izstrādāti dažādi NURBS tīkla kompresijas algoritmi un tas liecina par darbā aplūkotās tēmas un tās problēmu aktualitāti. Triju dimensiju skeneru parādīšanās vēl vairāk aktualizē virsmas apgabalu aizmainīšanas metožu izstrādi. Tomēr aplūkotajām metodēm ir daudzi citi pielietojumi. Metode2 izpilde reālā laikā Internet vidē paver jaunas iespējas dinamisku procesu modelēšanā. Piemēram, datorspēlēs personāži spēs mainīt savu formu nepārlādējot modeli.

## Literatūra

- 1) Kivlāns I. Telpisku objektu izveidošanas, vizualizācijas un pārraides komplekss tīklā. RTU 46.Starptautiskā zinātniskā konference., 2005.

- 2) Kivlāns I. Telpisku objektu interaktīva formas maiņa klienta servera vidē. RTU 46.Starptautiskā zinātniskā konference., 2006.
- 3) Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов.- СПб.;Питер,2002.-1088 с.; ил.
- 4) Дэвид Ф. Роджерсб Дж. Алан Адамс. Математические основы машинной графики. 2001.- 592 с.
- 5) Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики.-М. 1998.-500 с.
- 6) Rogers E.D. Computer graphics techniques. 1990.
- 7) Foley J.D. Computer Graphics principles and practice. 1990.

#### **Kivlāns I. Daži algoritmi NURBS objektu automātiskai formas maiņai**

*Šodien arvien aktuālāka kļūst triju dimensiju objektu lietošana Internetā un manipulācijas ar tiem reālā laikā. Lai imainītu šādu objektu formu, saglabājot vienotu matemātisko aprakstu, tiek lietota NURBS tehnoloģija. Rakstā tiek aplūkotas divas metodes NURBS līkņu un virsmu formas maiņai. Viena metode ļauj automātiski salīdzināt noslēgtas vai vaļējas līknes un virsmas pie jebkuras kārtas un dotiem svāriem. Otra metode izstrādāta objekta virsmas apgabala automātiskai izmaiņšanai pie dažādiem robežnosacījumiem. Metožu realizācijai ir izstrādāts programnodrošinājums un parādīti piemēri objektu modeļiem līdz divdesmit ceturtajai kārtai vienā parametriskajā virzienā un tīkliem, kuros vadošo punktu skaits nepārsniedz četrus simtus, jo realizācija veikta uz personālajiem datoriem. Virsmu apgabalu robežnosacījumu izpildei izveidoti inteligēnti algoritmi lietotājam. Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem tiek veidots kompleksss dinamiskai objektu formas maiņai darbam klienta servera sistēmās.*

#### **Kivlāns I. Several algorithms for NURBS object automatic form exchange**

*Nowadays usage of three-dimensional objects in Internet and manipulations with such objects is becoming more popular. To change form of objects with united mathematical description, we are using NURBS technology. In the article author looks at two methods of NURBS curves and change of surface form. One method allows automatically compare closed or opened curves and surfaces to any order and given scales. Second method is developed for object surface area automatically change at diverse area condition. There are software developed for implementation of methods and this program demonstrate example for the object models under twenty four orders in one parametric direction and net by not over four hundred control points. Implementation executed on personal computers. Intelligent algorithm is created on conditions of surfaces areas borders implementation developers. Basic of obtained results complex is formed dynamic form of objects to change in work client server system. Another aim is to decrease rendering time of a multi-dimensional objects processing and rendering in Internet.*

#### **Кивлан И. Некоторые алгоритмы для автоматического изменения формы NURBS объектов**

*Использование трёхмерных объектов в Интернете и манипулирование с ними в реальном времени сегодня стало актуальностью. Чтобы изменить форму таких объектов, сохраняя при этом целостное математическое описание, используется NURBS технология. В статье рассматривается два разработанных метода для автоматического манипулирования формами NURBS кривых и поверхностей. Один метод используя конвексную область кривых и другие свойства сплайновых функций позволяет автоматически сравнивать замкнутые и открытые кривые и поверхности любого порядка при различных весах. Второй метод разработан для автоматического изменения областей поверхности при различных граничных условиях с изменением сети контрольных точек или без изменения. Для реализации методов разработано программное обеспечение и показаны примеры на различных моделях высоких порядков. Для обеспечения граничных условий областей реализованы интеллигентные алгоритмы пользователю. Основываясь на полученные результаты, разрабатывается комплекс для динамического изменения форм объектов в клиент-серверных системах.*