LATVIJAS UNIVERSITĀTE

DATORIKAS FAKULTĀTE

**GRAFISKU OBJEKTU INTERAKTĪVA**

**MODIFICĒŠANA**

KVALIFIKĀCIJAS DARBS

Autors: **Elīza Gaile**

Studenta apliecības Nr.: eg17035

Darba vadītājs: doc., Dr. dat. Vineta Arnicāne

RĪGA 2019

**ANOTĀCIJA**

Šajā dokumentā ir aprakstīta grafisku objektu interaktīva modificēšanas sistēma, kas paredzēta kubisku Bezjē līkņu konstruēšanai un modificēšanai izmantojot datorpeli, datora tastatūru vai teksta failus. Sistēma piedāvā ģenerēt četru dažādu veidu Bezjē līknes, tai skaitā interpolētas līknes un saliktas līknes ar C2 nepārtrauktību, papildus izmantojot divu dažādu veidu parametrizācijas metodes. Iespējams arī izvadīt konstruēto Bezjē līkņu kontrolpunktus un/vai mezglu punktus, kā arī citus līkni raksturojošos lielumus. Līkņu vizuālai salīdzināšanai iespējams augšuplādēt fona attēlu.

Sistēma implementēta C# programmēšanas valodā, izmantojot Microsoft .NET ietvaru un tajā esošās Windows Forms.

Atslēgas vārdi: C#, Microsoft .NET, Windows Forms, Bezjē līknes, interpolācija.

**ABSTRACT**

This document describes a system for interactive modification of graphical objects, meant for Bezier curve creation and modification using mouse, keyboard or text files. System allows to create four types of curves, including Bezier curve fitting and composite Bezier curves with C2 continuity, and to choose from two different parameterization methods. Constructed curves can be interactively modified using mouse or by changing input data using keyboard. It’s also possible to output control points and/or points on the curve. For visual comparisons of curves, it is possible to upload a background image.

System is implemented in C# programming language, using Microsoft .NET framework and Windows Forms.

Keywords: C#, Microsoft .NET, Windows Forms, Bezier curves.

**SATURA RĀDĪTĀJS**

**IEVADS**

Lai konstruētu divdimensionālus datorgrafiskus attēlus, parasti tiek izmantotas taisnes un līknes. Kamēr taisnes izveide ir triviāla, līknes konstruēšana prasa vairāk pūļu, jo datoram nepieciešama matemātiska funkcija, kas apraksta līkni. Vien no plaši izplatītiem un ērtiem gludu līkņu uzdošanas veidiem datorgrafikā ir Bezjē līknes, it īpaši kubiskas Bezjē līknes, tāpēc tās tika izvēlētas šim projektam. Bezjē līknes tiek izmantotas arī, piemēram, PostScript, SVG, Microsoft Paint un Adobe Illustrator programmās.

Kvalifikācijas darba rezultāts ir Bezjē līkņu rīks, kas ļauj konstruēt un modificēt līknes. Šī programma tiks pielietota iekšējām uzņēmuma vajadzībām, lai manuāli modelētu un salīdzinātu apģērba piegrieznes. Lai gan eksistē vairāki citi rīki, kuros ietvertas līdzīgas funkcionalitātes, izveidotā programma apvieno visas projektam nepieciešamās funkcionalitātes vienā un neietver nevajadzīgas funkcijas. Izstrādais rīks atbalsta četru veidu kubiskas Bezjē līknes, kas atšķiras konstruēšanas veidā:

1. uzdodot četrus kontrolpunktus,
2. uzdodot četrus punktus, caur kuriem jāizvelk līkne (interpolēta Bezjē līkne),
3. uzdodot vairāk kā četrus punktus, caur kuriem pēc iespējas tuvu jāizvelk Bezjē līkne (interpolācija izmantojot mazāko kvadrātu metodi),
4. saliktu Bezjē līkņu konstruēšana, nodrošinot C2 nepārtrauktību katrām divām secīgām līknēm.

**Nolūks**

Šī dokumenta nolūks ir iepazīstināt sistēmas izstrādātājus un lietotājus ar sistēmas prasībām un projektējumu, funkcijām un rīka funkcionalitātes pielietojumiem, kā arī nodrošināt prasību saskaņošanu turpmākajā izstrādes un uzturēšanas procesā.

**Darbības sfēra**

Programmatūra paredzēta manuālai apģērba piegriežņu modelēšanai un salīdzināšanai, izmantojot kubiskās Bezjē līknes. Sistēmas lietotāji var konstruēt un modificēt četru veidu Bezjē līknes, izvēlēties piemērotāko parametrizācijas metodi, konstruētās līknes modificēt un dzēst, izvadīt par tām datus un veikt manuālu salīdzināšanu ar jau esošām piegrieznēm.

**Saistība ar citiem dokumentiem**

Dokuments tika izstrādāts saskaņā ar programmatūras prasību specifikācijas standartu LVS 68:1996 „Programmatūras prasību specifikācijas ceļvedis” un saskaņā ar programmatūras projektējuma apraksta standartu LVS 72:1996 “Ieteicamā prakse programmatūras projektējuma aprakstīšanai”.

**Pārskats**

Kvalifikācijas darba dokuments ir sadalīts piecās galvenajās daļās:

1. Vispārējs apraksts – apraksta produktu vispārējā līmenī un iekļauj informāciju par sistēmas lietotājiem, darījumprasībām. Aprakstīti arī ierobežojumi, pieņēmumi un atkarības.
2. Programmatūras prasību specifikācija – ietver funkcionālās un nefunkcionālās prasības.
3. Programmatūras projektējuma apraksts – ietver daļēju funkciju un saskaņu projektējumu.
4. Programmatūras testēšana – ietver testpiemēru projektējumu un testēšanas žurnālu ar rezultātiem.
5. Projekta organizācija – apraksta programmatūras izstrādes procesus, iekļauj arī darbietilpības novērtējumu, kvalitātes nodrošināšanu un konfigurāciju pārvaldību.

**APZĪMĒJUMU SARAKSTS**

**PPS**

**PPA**

**GIT**

**C#**

**Microsoft .NET ietvars**

**Windows Forms**

**Bezjē līkne**

**Kubiska Bezjē līkne**

**kontrolpunkti**

**mezglu punkti**

**Bezjē līknes galapunkti**

**Bezjē līknes rokturi**

**C2 nepārtrauktība**

1. **VISPĀRĒJS APRAKSTS**
   1. **Esošā stāvokļa apraksts**

Pieejamas vairākas programmatūras (piemēram, Adobe Illustrator, GIMP, Inkscape), kas piedāvā līkņu konstruēšanas un modificēšanas funkcionalitātes, kā arī piegriežņu modelēšanas programmatūras (piemēram, GRAFIS). Tomēr šīm programmatūrām ir ierobežotas interpolācijas, līkņu konstruēšanas un modificēšanas iespējas, turklāt tās piedāvā daudz lieku funkcionalitāšu, tādējādi apgrūtinot sistēmas paredzēto lietotāju.

* 1. **Pasūtītājs**

Sistēma aprakstīta un izstrādāta pēc uzņēmuma SIA “FitDex” pasūtījuma studiju kursa “Prakse” (DatZ2033) ietvaros.

* 1. **Produkta perspektīva**

Sistēma apvieno visas funkcionalitātes, kas nepieciešamas pasūtītājam, lai veiktu manuālu piegriežņu izstrādi un salīdzināšanu datorā, vienlaikus neapgrūtinot lietotāju ar liekām funkcionalitātēm.

* 1. **Darījumprasības**

Programmatūrai jānodrošina iespēja manuāli modelēt un salīdzināt apģērba piegrieznes. Apģērbu piegrieznes tiek modelētas izmantojot interpolāciju caur patvaļīgi uzdotiem punktiem, kā arī veicot manuālu līkņu rediģēšanu. Rīkam jābūt ērti izmantojamam un konstruēto piegriežņu līknēm jābūt vizuāli pievilcīgām.

* 1. **Sistēmas lietotāji**

Sistēmai paredzēts viens lietotāju veids. Lietotājs ir saistīts ar pasūtītāja uzņēmumu, ir pazīstams ar izstrādātā rīka specifiku (tai skaitā ar izmantoto Bezjē līkņu specifiku), un izmanto šo rīku, lai modelētu un salīdzinātu apģērba piegrieznes. Lietotājs izmanto rīka saskarni un tam ir pieejamas visas programmatūras funkcionalitātes.

* 1. **Vispārējie ierobežojumi**

Sistēmas lietošanai jābūt vieglai un intuitīvai.

* 1. **Pieņēmumi un atkarības**

Lai izmantotu visas programmatūras funkcionalitātes, lietotājam jābūt nodrošinātam ar datoru, ekrānu, datora tastatūru un datorpeli. Sistēma jāizstrādā C# programmēšanas valodā.

1. **PROGRAMMATŪRAS PRASĪBU SPECIFIKĀCIJA**
   1. **Funkcionālās prasības**

Programmatūrai jānodrošina pasūtītāja prasības:

1. Līkņu interpolācija caur patvaļīgi uzdotiem punktiem. Punkti var tikt ievadīti manuāli ar tastatūru, atzīmēti ar datorpeli vai ielasīti no faila.
2. Konstruētajām līknēm jābūt gludām (tām jāpiemīt C2 nepārtrauktībai) un tām jābūt vizuāli pievilcīgām.
3. Konstruētās līknes jāspēj interaktīvi modificēt izmantojot datorpeli vai ievadot interpolējamo punktu izmaiņas ar tastatūru.
4. Jāspēj izvadīt konstruēto līkņu parametrus uz ekrāna un failā, lai nepieciešamības gadījumā varētu rekonstruēt izveidoto līkni.
5. Jānodrošina iespēja vizuāli salīdzināt rīkā konstruētās līknes ar līknēm esošā piegrieznē.
6. Dažādu nozīmju grafiskajiem objektiem (piemēram, interpolācijas mezglu punktiem un palīgpunktiem) jābūt atšķiramiem ar vizuālo izskatu, piemēram, krāsojumu.
7. Jānodrošina iespēja konstruētās līknes dzēst.
   1. **Nefunkcionālās prasības**

Grafisko objektu konstruēšanai, modificēšanai, dzēšanai un datu izvadei jānotiek ne ilgāk kā 0,1 sekunžu laikā. Līkņu interaktīvai modificēšanai ar datorpeli jābūt “bez aizķeršanās”.

1. **PROGRAMMATŪRAS PROJEKTĒJUMA APRAKSTS**
   1. **Projektējuma matemātiskais pamatojums**
      1. **Kubisku Bezjē līkņu izmantošanas pamatojums**

Programmatūras mērķis ir rīks, kas konstruē divdimensionālus līkņu attēlus datorā, interpolējot patvaļīgi dotus punktus. Kamēr, piemēram, dotu punktu un taišņu izveide datorā ir triviāla, konkrētu līkņu attēlošana prasa vairāk pūļu, jo datoram nepieciešama precīza matemātiska funkcija, kas apraksta doto līkni. Nepieciešamās funkcijas iespējams uzdot dažādos veidos – piemēram, ar polinomu un trigonometriskajām funkcijām, kā arī ar dažādām parametriskajām līknēm.

NURBS ir parametrisku līkņu uzdošanas veids, kas salīdzinoši viegli aprakstāms datoram un ir intuitīvi saprotams cilvēkam. NURBS veidotās līknes ir gludas, paredzamas un ērti modificējamas, turklāt tām piemīt liela elastība (atšķirībā no, piemēram, polinomu funkcijām, kur katram argumentam atbilst viena vērība).

Viens no visplašāk izmantotajiem līkņu uzdošanas veidiem datorgrafikā ir Bezjē līknes, kas ir NURBS līkņu apakškopa. Lai gan mazāk elastīgas par NURBS līknēm, arī Bezjē līknes ir plaši pielāgojamas un paredzamas, turklāt samazinātās sarežģītības dēļ, tās ir vieglāk implementējamas, prasa mazāk resursus un ir vēl intuitīvākas. Galvenokārt tieši šo īpašību dēļ, Bezjē līknes ir implementētas lielākajā daļā grafisko programmatūru, piemēram, Adobe Illustrator, GIMP, Inkscape, Microsoft Paint, SVG un citās.

Ir definētas visu kārtu Bezjē līknes. Pirmās kārtas Bezjē līkne ir nogrieznis, savukārt ceturtās un augstāku kārtu Bezjē līknes ir intensīvas skaitļošanas ziņā. Tādēļ datorgrafikā vispopulārākās ir kvadrātiskās un kubiskās Bezjē līknes. Atceroties, ka Bezjē līknes kārta nosaka arī tās maksimālo pārliekuma punktu skaitu, var secināt, ka kubiskās Bezjē līknes piedāvā lielāku pielietojamību, turklāt tās ir implementētas C# System.Drawing bibliotēkā. Ņemot vērā šos apsvērumus, programmatūra tiek projektēta izmantojot kubiskās Bezjē līknes.

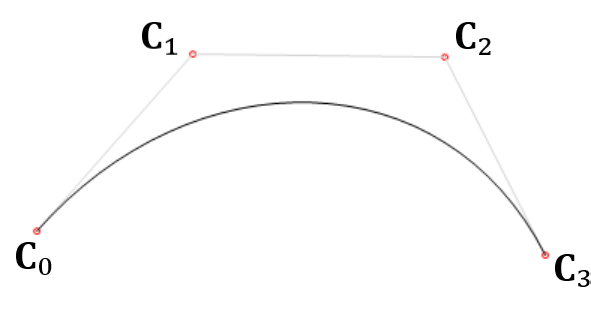
* + 1. **Bezjē līkņu pamatteorija**

Bezjē līkne ir definētas jebkurai pakāpei un-tās kārtas Bezjē līkne pierakstāma ar formulu:

Kubiska Bezjē līkne ir izsakāma formā:

Ar tiek apzīmēti kontrolpunkti. Kontrolpunkti ir mainīgie, kas nosaka, kā Bezjē līkne tiek izliekta. Katru kontrolpunktu komplekts nosaka tieši vienu līkni.

Trešās pakāpes Bezjē līknei ir četri kontrolpunkti, divus no tiem sauc par galapunktiem (, ) un divus par rokturiem (, ). Līkne sākas punktā un beidzas punktā , līdz ar to šie punkti pieder līknei. Atšķirībā no galapunktiem, patvaļīgi izvēlēti rokturu punkti līknei nepieder. Skatīt 3.1. att.



3.1. att. – Bezjē līkne un tās kontrolpunkti

Bezjē līknes iespējams reprezentēt arī matricu formā, kas atvieglo dažādu aprēķinu veikšanu. Kubisku bezjē līkni var izteikt kā trīs matricu **T**, **M**, **C** reizinājumu:

Lai veiktu interpolāciju ar Bezjē līkni –, lai uzkonstruētu līkni, kas iet cauri dotiem mezglu punktiem –, jāiegūst atbilstošas kontrolpunktu koordinātas. Trešās kārtas gadījumā līkne precīzi var iziet caur ne vairāk kā četriem patvaļīgiem mezglu punktiem. Ja tiek doti vairāk nekā četri punkti, caur kuriem jāveic interpolācija ar kubisku Bezjē līkni, var izmantot citas metodes:

1. Atrast tuvāko līkni dotajiem punktiem;
2. Konstruēt saliktu Bezjē līkni.
   * 1. **Kubiskās Bezjē līknes interpolācija caur četriem punktiem**

Ja lietotājs vēlas novilkt līkni caur tieši četriem punktiem, iespējams atrast atbilstošos kontrolpunktus. Viens no variantiem, kā atrast šādu kontrolpunktu koordinātas, ir izmanot mazāko kvadrātu metodi. Šī metode atrod kontrolpunktu koordinātas minimizējot distanci starp dotajiem mezglu punktiem un līkni. Zināms, ka trešās pakāpes Bezjē līkni iespējams izvilkt caur jebkādiem četriem mezglu punktiem, tātad mazāko kvadrātu metode atradīs līkni, kurai distanču kvadrātu summa ir nulle. Bezjē līkne ir parametriska un, lai aprakstītu punktu uz tās, tiek specificēta vērtība, savukārt mezglu punkti tiek uzdoti ar koordinātām. Lai mērītu un minimizētu distanci starp mezglu punktu un līkni, nepieciešams saistīt dotos punktus ar punktiem uz līknes, tas ir, katram mezglu punktam nepieciešams piesaistīt vērtību. Šo procesu sauc par parametrizāciju (skatīt nodaļu 3.1.7) un tās rezultātā atrasto vērtību katram mezgla punktam apzīmēsim ar .

No šīm vērtībām tiek izveidota matrica , kas interpolācijas aprēķinos aizstāj matricu ar simboliskajām vērtībām:

Lai aprēķinātu kontrolpunktus (sakārtotus matricā ), kuru veidotā līkne interpolē mezglu punktus (sakārtotus matricā ), jāveic sekojoši aprēķini:

Pilnu mazāko kvadrātu metodes izvedumu un pierādījumu skatīt pielikumā Nr. 1

* + 1. **Tuvākās līknes izmantošanas pamatojums un metodes teorija**

Ja lietotājs vēlas novilkt līkni caur vairāk nekā četriem punktiem, viens no iespējamajiem risinājumiem ir atrast tuvāko līkni dotajiem mezglu punktiem – līkni, kura ir pēc iespējas tuvu visiem punktiem. Tas izdarāms dažādos veidos, bet viens no ērtākajiem un plašāk izmantotajiem veidiem ir mazāko kvadrātu metode. Metodes apraksts sakrīt ar četru punktu interpolāciju (skatīt 3.1.3 nodaļu), tikai patvaļīgu punktu gadījumā (), distanču kvadrātu summa nebūs nulle un matrica būs formā:

Tuvākā līkne analītiski neizies cauri visiem dotajiem punktiem, tomēr ņemot vērā apģērba piegriežņu modelēšanas specifiku – nepieciešamo precizitāti, iespējamās nobīdes un salīdzinoši mazās virziena izmaiņas līknēm, tā ir noderīga, jo prasa maz resursu un ir lietotājam vienkārši saprotama.

* + 1. **Saliktu līkņu izmantošanas pamatojums un teorija**

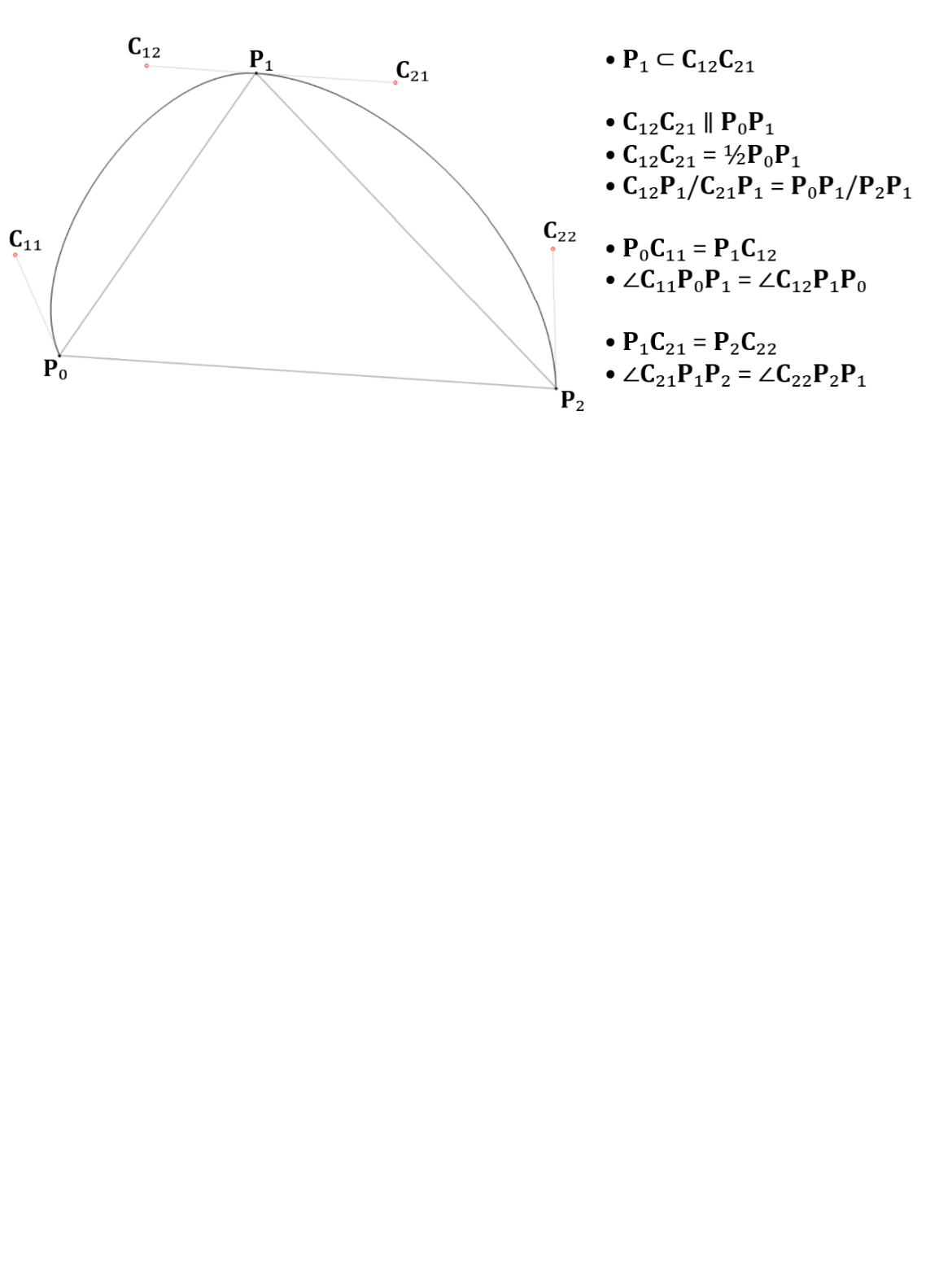
Ja lietotājs vēlas novilkt līkni caur vairāk nekā četriem punktiem, un ir svarīgi, ka konstruētā līkne iziet caur šiem punktiem, patvaļīgiem mezgliem tas nav izdarāms ar vienu kubisku Bezjē līkni. Tā vietā var izmantot vairākas Bezjē līknes, kuras savā starpā ir savienotas. Lai gan iespējams katriem četriem punktiem uzdot vienu Bezjē līkni, tādējādi minimizējot līkņu skaitu, šāds sadalījums rada daudz speciālgadījumu (ja mezglu skaits nedalās ar četri), būtiski sarežģī aprēķinus un ierobežo pielāgošanas iespējas. Ērtāks veids, kā ieviest saliktas Bezjē līknes, ir uzdot jaunu līkni katriem diviem secīgiem mezglu punktiem, kur mezglu punkti ir Bezjē līknes galapunkti. Lietojot šo metodi, nav jāuztraucas par mezglu punktu piederību līknēm.

Lai savienotās Bezjē līknes būtu gludas, tām jāpiemīt C2 nepārtrauktībai. Lai nodrošnātu šo nepārtrauktību, katra mezglu punkta (izņemot pirmā un pēdējā) blakus esošajiem rokturiem jābūt uz vienas taisnes. Šāda veida saliktas Bezjē līknes sauc par B-līknēm, un tās ir iespējams konstruēt dažādos veidos. Kādā leņķī un cik tālu no mezglu punkta ir blakus esošie rokturi ir maināmi lielumi un raksturo B-līknes veidu.

* + 1. **B-līkņu konstruēšanas metode**

B-līkņu veids, kas tiek konstruēts izstrādātajā rīkā, aprakstāms šādi:

* Mezglu punkta blakus esošo rokturu veidotā taisne ir paralēla blakus esošo mezglu veidotajai taisnei (skatīt att. 2);
* Attālums starp blakus esošajiem rokturiem vienāds ar pusi no attāluma starp blakus esošajiem mezgliem (skatīt att. 2);
* Attālums starp mezglu un blakus esošajiem rokturiem proporcionāls attālumam starp mezglu un blakus esošajiem mezgliem (skatīt att. 2);
* Pirmais/pēdējais B-līknes rokturis tiek atlikts simetriski otrajam/priekšpēdējam B-līknes rokturim (skatīt att. 2);
* Ja B-līkne sastāv no 2 mezglu punktiem, attālums no roktura līdz tam tuvākajam mezglu punktam vienāds ar pusi no attāluma starp mezglu punktiem; leņķis starp mezglu punktu veidoto taisni un taisni, ko veido rokturis un tā tuvākais mezglu punkts, vienāds ar (skatīt att. 3).



3.2 att. – B-līkņu konstruēšanas metode

Aprakstītais B-līkņu veids ir cilvēkam intuitīvs, tā implementācija ir vienkārša un neprasa daudz resursu. Rīka konstruētās saliktās Bezjē līknes ir gludas un, izņemot retus gadījumus (piemēram, asus pagriezienus), atbilstošas vizuālajām prasībām.

B-līkņu modificēšana šajā rīkā iespējama mainot rokturu koordinātas divos veidos:

1. Mainot roktura atrašanās vietu patvaļīgi. Roktura (1.) tuvākā mezgla otrs blakus esošais rokturis(2.) arī maina savu atrašanās vietu, lai turpinātu atrasties uz taisnes, kuru veido minētais mezgls un 1. rokturis. Attālums starp mezglu un 2. rokturi paliek nemainīgs.
2. Veicot ierobežotu roktura atrašanās vietas maiņu. Rokturi(1.) iespējams pārvietot tikai pa staru, kurš atrodas uz taisnes, ko veido tuvākais mezgla punkts un mezgla otrs blakus esošais rokturis. Stara sākumpunkts ir minētais mezgls.
   * 1. **Parametrizācijas metodes**

Bezjē līkņu parametrizācija ir mezglu punktu koordināšu sasaiste ar Bezjē līkni . Parametrizācijas rezultātā katram mezglam tiek atrasta atbilstoša vērtība, apzīmēta ar . Parametrizācija nepieciešama, lai veiktu Bezjē līkņu interpolāciju. Caur četriem punktiem iespējams izvilkt bezgalīgi daudz kubisku bezjē līkņu un tieši parametrizācijas metode nosaka, kāda līkne tiks izvilkta. Trīs parametrizācijas metodes, kas tiek izmantotas programmatūrā, ir:

1. Vienmērīga sadalījuma (“Uniform”). Tiek pieņemts, ka dotie punkti būs vienmērīgi izkārtoti, un atbilstošā vērtība punktam atroda kā , kur – mezglu skaits. Piemēram, ja tiek doti 5 punkti, attiecīgās vērtības ir 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1. Šī ir viena no vienkāršākajām un skaitļošanas resursu taupīgākajām parametrizācijas metodēm, bet tā var dot nevēlamus rezultātus – piemēram, ja mezgli nav vienmērīgos attālumos, līknē var rasties lieli izliekumi, cilpas un asas smailes (skatīt att. 4.). Lai gan šādi nevēlami rezultāti nav unikāli vienmērīgā sadalījuma metodei, tie atgadās biežāk nekā citām metodēm.
2. Hordu garuma (“Chord length”). Tiek pieņemts, ka konstruētās līknes punkti būs netālu no lauztās līnijas, kas veidojas savienojot mezglu punktus. Tādā gadījumā līknes garums starp diviem mezgliem būtu tuvs hordas garumam starp tiem un visas interpolētās līknes garums būtu tuvs minētajai lauztajai līnijai. Atbilstošo vērtību punktam atrod kā lauztās līnijas garumu no pirmā līdz -tajam mezglam, mērogotu intervālā. Aprēķināms kā , kur , ar apzīmē garumu starp dotajiem punktiem, – lauztās līnijas garums, – mezglu skaits. Šī ir vispopulārākā Bezjē līkņu parametrizācijas metode. Tai nav apjomīgas skaitļošanas operācijas un visbiežāk līnijas, kas konstruētas izmantojot hordu garuma parametrizāciju, dod vēlamus rezultātus. Bieža nevēlama parādība šai metodei ir lieli izliekumi (skatīt att. 5).
3. Centrtieces spēka (“Centripetal Method”). Šī parametrizācijas metode atsaucas uz centrtieces spēku. Ja mēs iedomājamies mašīnu, kas brauc pa Bezjē līkni, pagriezienos tai būtu jāsamazina ātrums, lai centrtieces spēks nav pārlieku liels un tā neizslīd no trajektorijas – spēkam vajadzētu būt proporcionālam izmaiņām leņķī. Centrtieces spēka parametrizācija ir aproksimācija šim modelim. Atbilstošo vērtību punktam aprēķina kā , kur , ar apzīmē garumu starp dotajiem punktiem, , – mezglu skaits. Var ievērot, ka šī metode ir ļoti līdzīga hordu garuma metodei, bet kvadrātsaknes dēļ garākām hordām tiek samazināta ietekme, savukārt īsākām – palielināta. Šī iemesla dēļ centrtieces spēka parametrizācija labāk tiek galā ar asiem pagriezieniem (skatīt att. 6).

Visām parametrizācijas metodēm ir savas priekšrocības un trūkumi un nav viena “labākā metode”, it īpaši ņemot vērā, ka līknes “labums” ir daļēji subjektīvs (skatīt att. 7). Šo iemeslu dēļ, izstrādātais rīks ļauj mainīt interpolēto līkņu (<4 pPoints>, <Least Squares>) parametrizācijas metodi.

Eksistē parametrizācijas metodes, kuru konstruētās līknes retāk ir nevēlamas, piemēram, afīnā invarianta leņķa metode (“affine invariant angle method”), taču tās ir sarežģīti implementējamas un prasa daudz skaitļošanas resursu.

* 1. **Funkciju projektējums**

Funkcija **pbCanva\_MouseDown**:

* Izpildās, kad datorpeles kursors atrodas *picture box* vadīklā “pbCanva” un tiek nospiests peles taustiņš.
* (Izsauc funkcijas, kas) Pievieno jaunus mezglu un kotrolpunktus,

Funkcija GetFirstHandleComposite()

* 1. **Lietotāja saskarņu projektējums**

1. **TESTĒŠANAS DOKUMENTĀCIJA**
   1. **Testpiemēru projektējums**
   2. **Testēšanas žurnāls**
2. **PROJEKTA ORGANIZĀCIJA**
   1. **Darbietilpības novērojums**
   2. **Kvalitātes nodrošināšana**
   3. **Konfigurāciju pārvaldība**

**IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI**

<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a350611.pdf> – 75.lpp pētījums “bezier curve fitting”

<https://pomax.github.io/bezierinfo/> – classic pomax

lietas no seienes: <https://pages.mtu.edu/~shene/COURSES/cs3621/NOTES/> :

<https://pages.mtu.edu/~shene/COURSES/cs3621/NOTES/spline/Bezier/intro.html>

<https://pages.mtu.edu/~shene/COURSES/cs3621/NOTES/INT-APP/PARA-chord-length.html>

<https://pages.mtu.edu/~shene/COURSES/cs3621/NOTES/INT-APP/PARA-uniform.html>

myb tā viena grāmata?

<https://en.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9zier_curve>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform_rational_B-spline>

<https://en.wikipedia.org/wiki/B-spline>

**PIELIKUMI**

1. **Programmatūras koda fragments**
2. **Mazāko kvadrātu metodes**
3. **pielikums**

(Dokumentārā lapa)