

ИЗРАДА 3Д МОДЕЛА ИЗ ОБЛАКА ТАЧАКА**CREATION OF 3D MODELS FROM POINT CLOUDS**Миланка Грубачић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ГЕОДЕЗИЈА И ГЕОМАТИКА**

Кратак садржај – У овом раду представљен је поступак израде 3Д модела објекта из облака тачака, добијеног терестричким ласерским скенирањем, типови модела и методе моделирања, као и најчешће коришћени алгоритми.

Кључне речи: *Облак тачака, 3Д модели, моделирање*

Abstract – *This paper presents the procedure for creating a 3D model of an object from point cloud, obtained by terrestrial laser scanning, the types of models and modeling methods, as well as the most commonly used algorithms.*

Keywords: *Point cloud, 3D models, modeling*

1. УВОД

Терестричко ласерско скенирање је напредна техника геодетског мерења, која је у последње време нашла широку примену у бројним областима. Креирање реалистичног модела објекта високе 3Д тачности је основни захтев у овој области, који ласерски скенери и софтвери за обраду и реконструкцију модела објекта треба да задовоље.

Резултат терестричког ласерског скенирања је облак тачака који представља скуп просторних 3Д тачака и интензитета повратног сигнала [1,2]. Два основна система која чине терестрички ласерски скенер су ласер за мерење дужина и уређај за скретање ласерског снопа [2].

Употребом савремених скенера, више милиона тачака на објекту се сниму у веома кратком времену, што је главна предност ове у односу на конвенционалне терестричке технике мерења и омогућава значајно смањење обима радова на терену. Објекат се дискретизује са великим бројем тачака, чијим моделирањем је могуће добити визуелно веран тродимензионални модел [2,3]. С обзиром да не постоји један универзални скенер којим би се могла извршити сва мерења, ласерске скенере је могуће груписати према [1]: методи мерења дужина, видном пољу, домету и мобилности.

2. МОДЕЛИРАЊЕ

Обрада облака тачака представља процес трансформације сировог регистрованог облака тачака у коначне

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Миро Говедарица, ред. проф.

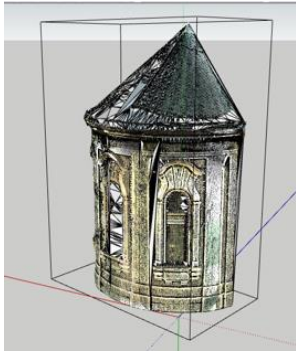
предмете испоруке, који могу бити: очишћени облаци тачака, стандардни 2Д цртежи (планови, елевације, попречни пресеци) и 3Д модели са текстуром који се могу користити за креирање анимација. Поступак претварања облака тачака у 3Д моделе је још увек углавном мануалан и траје веома дуго [4]. Моделирање представља процес којим се облаци тачака преводе у параметре изравнавајуће површине, чиме се добија континуална форма објекта. Моделирање означава представљање битних одредби неког објекта као целине, док је модел имитација, прототип или пројекција објекта – прошле, постојеће и могуће будуће реалности [2]. Моделирање је потреба различитих апликација, из инжењерских области, области видео игара, филмова, апликација за виртуелну стварност, е-трговине и слично [4].

Модели се генерално могу поделити у две категорије [5,6]: површински (surface) модели који представљају површину објекта и чврсти (solid) модели који представљају запремину објекта.

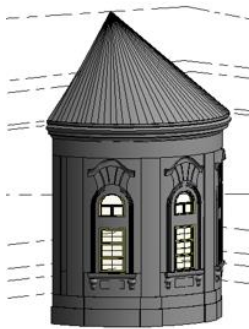
Површ или површина, је овичена, компактна, вишеструко повезана 2Д или 3Д оријентисана целина. Геометријски се представља у имплицитном или параметарском облику. Површи, које се не могу описати у аналитичком облику, називају се површи слободног облика. Циљ који добијени површински модел треба да постигне је: нека је P скуп тачака из облака тачака за који се претпоставља да лежи или је у близини непознате површине S , потребно је креирати такав површински модел S' који апроксимира S [7].

Солид моделирање је конзистентан скуп принципа моделирања тродимензионалних чврстих тела. Солид модели служе као основа за брзу израду прототипа, архивирање дигиталних података и обрнути инжењеринг реконструкцијом чврстих тела из узоркованих тачака на физичким објектима, механичку анализу коришћењем коначних елемената, планирање кретања и дефинисање путања и сл. Два уобичајена приступа оваквог моделовања ослањају се на топологију скупа тачака и алгебарску топологију. Оба модела објашњавају како се чврста тела могу градити од једноставних делова [6].

Површински и чврсти модели, чији су примери приказани на сликама 1. и 2. могу репрезентовати функционално идентичне објекте. Разлике међу њима су засноване на начину на који су креирани и уређени, типовима апроксимација између модела и стварности, разлога за креирање и области примене [6].



Слика 1. Површински модел добијен триангулацијом у програму SketchUp помоћу plug – in Undet



Слика 2. Чврсти модел креиран у програму Revit

3. МЕТОДЕ МОДЕЛИРАЊА

Спектар алгоритама који се примењују за моделирање је прилично велики, али се могу поделити према неким категоријама [7]:

1. Прва подела је на основу квалитета улазних података, где се облаци тачака могу поделити на неорганизоване (добијају информације само на основу просторног положаја тачака) и на структуриране (могу узети у обзир додатне информације о тачкама).
2. Друга подела је подела према њиховој просторној расподели, према којој могу бити површински (не праве разлику између отворених и затворених површина) или запремински оријентисани (раде са затвореним површинама и заснивају се на Delaunay - евим тетраедрима).
3. Трећа подела је према начину представљања површина: једноставна представа (површина је скуп једноставних ентитета попут тачке, ивице и троугла), имплицитна представа (функција за глачање која пролази кроз све тачке у којима имплицитна функција има неку константну вредност, обично нулу) и параметарска представа (представљање површина површинским закрпама).
4. Четврта подела се заснива на различитим претпоставкама које алгоритми користе: алгоритми који користе фиксне облике (претпостављају да је облик површи познат, попут равни, цилиндра или сфере) и алгоритми који користе информације о структури или оријентацији (могу да користе

однос суседних података унутар сваког скена или знање о оријентацији скениране површи).

3.1. Полигонално моделирање

Полигонално моделирање је (математичка) конструкција и компјутерска имплементација објекта, добијена дефинисањем тачака у тродимензионалном координатном систему X , Y и Z . Скупови ових тачака се математички повезују у линије и на тај начин креирају полигоне, а полигони се даље увезују у једну целину и на тај начин креирају објекат [7]. Недостатак полигоналног моделирања је огромна густина минијатурних полигона, од којих објекат мора бити креиран, како приликом зумирања не би дошло до фасетирања дуж ивица [8]. Методологија се у општем случају заснива на генерисању мреже полигона (најчешће троуглова) повезивањем тачака као темена полигона, на одговарајући начин [5].

Триангулација конвертује дати скуп тачака у конзистентан полигонални модел (мрежу). Мрежа је скуп суседних троуглова (или четвороуглова) који се не преклапају већ се додирују својим ивицама [7]. Дискретизација измереног домена се обавља применом методе коначних елемената, која врши његово дељење на много ситних „елемената“, обично троуглова или четвороуглова у дводимензионалној или тетраедара у тродимензионалној представи. Триангулација може бити представљена у 2Д, 2.5Д или 3Д облику [7].

3.2. Имплицитни и параметарски метод уклапања основних геометријских примитива

Имплицитна репрезентација 3Д објекта описује његову површину као скуп 3Д тачака на којима је скаларна функција једнака прописаној изо-вредности. Приликом моделирања сложени објекти се дефинишу састављањем њихових различитих делова са алгоритмима композиције, при чему је сваки део дефинисан сопственом скаларном функцијом. Док изо-површине представљају појединачни облик делова, алгоритми композиције контролишу начин на који су комбиновани. Геометријске примитиве се тако комбинују једноставном применом операција на њихове одговарајуће скаларне функције, без обзира на њихову релативну позицију [9].

Параметарски облик је 2Д или 3Д облик дефинисан минималним скупом параметара. Параметарска мрежа представља тродимензионалну површину повезану скупом параметарских функција као сплајн или Безијеве криве [6]. Задржавају се информације о основној геометрији објеката, којима се и даље може приступити и могу се мењати и након што су објекти модификовани [8]. Најчешћи параметри су: димензије које се користе за креирање карактеристика модела, густина материјала, формуле за описивање измештених карактеристика и друго [6]. Иако је параметарско моделирање обично засновано на сплајну, нису сви модели сплајна параметарски [8]. Параметарске површине су ограничене, а њихова ограничења се могу дефинисати или преко параметара за ограничења или преко различитих параметарских карактеристика.

2Д геометријске примитиве су тачке, праве, троуглови, равни, кругови, сфере, квадрати и дискови [6]. Геометријске 3Д примитиве су основне геометријске форме које могу да се користе у изворном облику или модификују помоћу трансформација и Булових операција [8]. Већина софтверских пакета уграђује готове софистициране примитиве ради брзине уградње и других погодности за рад [8,10]. Најчешће 3Д примитиве су коцке, пирамиде, чуњеви, цилиндри, конуси, сфере и торуси [8,6].

3.3. Примери најчешће коришћених алгоритама

Alfa shapes алгоритам представља метод површинског уклапања неорганизованог облака тачака. Алгоритмом се добија омотач контуре неког објекта, тј. сфера. Реконструкција сфере је груба када је фактор радијуса алфа превелик. Ако је радијус премали, долази до кидања контуре и враћања тачака опет у облак тачака [11,12].

Spline алгоритми су софистициранији и омогућавају кориснику да ради са објектима независно од резолуције, што значи да не долази до појаве фасетирања, приликом великог приближавања објекту. Алгоритми закрпа су веома погодни за вајање објеката, а параметарски алгоритми дозвољавају да се параметри објекта мењају у процесу рада [8].

B-Spline алгоритми представљају стандард за опис сложених кривих и површина у актуелним CAD системима. Процес креирања површинског модела почиње са конвертовањем тачака у B-Spline нерационалне криве, а затим се кроз те криве блендовањем (провлачењем кроз низ кривих) долази до B-Spline површине [5].

Безијерове криве су рационалне криве [5]. Оне имају контролне тачке које се увек налазе на резултујућој кривој. Од контролних тачака се протежу тангентне тачке (ручке) које омогућавају да се крива мења без померања контролних тачака [8].

NURBS криве и површи су класа параметарских кривих и површи [7]. Користе се у обрнутом инжењерингу, производним праксама, дигиталној забави, скулптурирању, рачунарском моделирању и пројектовању [13]. NURBS методе моделирања примењују се за прецизно моделирање чврстог и техничко моделирање површинског модела [14]. NURBS закрпе су обично решетке од сплајнова или полигона и могу се делити због повећања детаљности и сашити због формирања сложене површине [8].

Субдиверзионо моделирање омогућава додавање неопходних, специфичних и комплексних детаља на модел. Ово је хибридни метод који омогућава моделирање углачаних NURBS детаља и обликовање полигоних модела [14]. SubD карактеришу операције пречишћавања које се итеративно примењују на скуп тачака где долази до стварања континуалне граничне површи. Користи се за скулптурисање, дигиталну забаву, анимацију и визуелне ефекте [13].

Boundary representation (B-rep) и feature-based су два основна алгоритма за чврсте моделе. На основу

региона добијених сегментацијом (на уграђеном површинском моделу), гради се график суседних региона, који је одраз комплетне топологије. B-rep модели су засновани на ограничењима [15].

Feature-based је моделирање засновано на препознавању геометријских карактеристика [15]. Карактеристике су дефинисане као параметарски облици повезани са атрибутима као што су унутрашњи геометријски параметри (дужина, ширина, дубина итд.), позиција и оријентација, геометријске толеранције и својства материјала [6].

Constructive Solid Geometry (CSG) је техника моделовања солид модела помоћу геометријских примитива, а на основу примене Булових операција као што су пресеци, уније и разлике [16].

4. ИЗРАДА 3Д МОДЕЛА ИЗ ОБЛАКА ТАЧАКА

Процес израде 3Д модела углавном се састоји од следећих принципа приказаних на слици 3.



Слика 3. Дијаграм тока израде 3Д модела

Резултат скенирања је огроман број тачака у простору, где свака тачка поседује своју x , y и z координату и вредност рефлексије ласерске светлости. Овакав скуп скенираних тачака неког објекта назива се облаком тачака, а облак тачака представља улазне податке за израду 3Д модела објеката. Да би процес креирања 3Д модела могао да почне, потребно је претходно извршити регистрацију и геореференцирање [2] како би се креирао јединствени облак тачака и исти превео у државни координатни систем. Над облаком тачака је потребно извршити претходну обраду [5] како би се уклонили шумови, погрешна мерења и попунили празнине. Рупе се попуњавају додавањем нових тачака, ручно или алгоритмима. Претходна обрада је у директној вези са тачношћу добијеног 3Д модела објекта.

Следећи корак је класификација (углавном за LiDAR системе) или по потреби сегментација (код терестричког скенирања урбаних зона).

Класификација може бити основна или детаљна [4] и може се изводити мануелно или аутоматски. Основна класификација облака тачака примењује се на комплетном снимљеном облаку тачака. Подразумева се да је потребно дефинисати класе тачака терена како би се креирао прецизни дигитални модел терена. Аутоматска класификација терена се обавља на основу итеративног модела површи. Мануелна се изводи унутар одређених полигона, тако што се тачке

које не припадају одређеној класи и погрешно су класификоване, мануелно премештају у другу класу [17]. Класификација се може вршити на основу тачака које су на терену, у ваздуху, у одређеном радијусу, ниске тачке, високе тачке, вегетација или зграде [4].

Сегментација је процес који се јавља у неким случајевима када је потребно извршити моделирање сложених објеката. Облак тачака се овим процесом дели на смислене регионе, који касније могу бити описани неким готовим или дефинисаним обликом (геометријским примитивима) [5]. Ако цео објекат не може да се опише смисленим регионима на основу тополошких или геометријских карактеристика, преостали региони се сматрају површинама слободног облика и моделирање се обично врши NURBS површинским уклапањем [15].

Геометријске примитиве су геометријски облици на основу којих је могуће направити реконструкцију скенираног објекта, софтверским уклапањем у сегментиран облак тачака или претходно креирану мрежу троуглова. Примитиве се софтверски путем алгоритама или ручно уграђују у облаке тачака у свом изворном облику или се претходно модификују на основу задатих карактеристика.

У зависности од контрнетног случаја прво може бити креиран површински, па затим волуметријским методама и чврсти модел или се моделирање може вршити директним уклапањем 3Д примитива.

Постоје три врсте површина: полигоналне, сплајн и субдверзионе површине [6] које могу бити састављене од линија, полилинија, полигона или сплајнова [8]. Изградња 2Д облика је одличан начин за започињања креирања сложеног 3Д објекта, јер се површински облици лако мењају. Начин на који се облик модификује зависи од тога да ли се ради о полигону или сплајну, али неке операције су заједничке за оба [8]. Процесом волуметријских операција може се прећи са површинског на запремински 3Д модел, а на основу просторне трансформације површинских модела [8,10]. Најчешће коришћене операција у ту сврху су [8]: Extruding, Lathing, Sveeping и Skinning.

Реконструкција прецизних површина из неуређених облака тачака представља захтеван проблем, који није у потпуности технолошки решен [4]. Због веома компликованог процеса креирања 3Д објеката, истраживачи се све више окрећу аутоматизованим методама препознавања 3Д објеката. Креирање параметарских чврстих модела из тачака не може бити у потпуности аутоматизовано, јер упркос техничким изазовима у имплементацији, оригинални дизајн на основу тачака мора да се реализује у параметарском чврстом моделу [15].

5. ЗАКЉУЧАК

Циљ моделирања је креирање модела који ће најбоље приказати стварни објекат из окружења. За ту сврху на тржишту постоје бројни софтверски пакети било комерцијални или бесплатни, који нуде бројне мануелне, полуаутоматизоване или аутоматизоване могућности за моделирање.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] М. Бојић, Д. Когој, “Калибрација терестричких ласерских скенера”, Љубљана, 2017.
- [2] М.М. Пејић, “Тачност моделирања објеката технологијом терестричког ласерског скенирања”, Београд, 2013.
- [3] М. Пејић, “Примена технологије терестричког ласерског скенирања у геодезији”, Грађевински факултет, Београд, 2010.
- [4] М. Говедарица, “Ласерско скенирање”, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2021.
- [5] С.Томић, “Инжењерска фотограмметрија”, Висока грађевинско гродетска школа, Београд, 2017.
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling (приступљено у септембру 2022.)
- [7] R. Fabio, “From point cloud to surface: the modeling and visualization problem”, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Swiss Federal Institute of Technology, 2004.
- [8] M. Giambruno, “3D Graphics & Animation, Online Sample Chapter (3D Modeling Basics)”, 2002.
- [9] B. Angles, “Geometric modeling with primitives”, Université Paul Sabatier - Toulouse III, pp. 3-9, pp. 34-36, 2019.
- [10] Н. Марјановић, “Основе 3Д моделирања у CAD софтверима”, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2014.
- [11] K. Wang, J. Zhou, W. Zhang, B. Zhang, “Mobile LiDAR Scanning System Combined with Canopy Morphology Extracting Methods for Tree Crown Parameters Evaluation in Orchards”, Nanjing Agricultural University, China, 2021.
- [12] M. Rutzinger, A.K. Pratihast, S.O.Elberink, G. Vosselman, “Detection and modelling of 3D trees from mobile laser scanning data”, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK, 2010.
- [13] P. Pal, “A reconstruction method using geometric subdivision and NURBS interpolation”, 2007.
- [14] J. Wroński, “Concept modeling with NURBS, Polygon and Subdivision surface”, East Tennessee State University, 2006.
- [15] K.H. Chang, C. Chen, “3D Shape Engineering and Design Parameterization”, University of Oklahoma, 2011.
- [16] Z. Duan, Q. Yang, X. Meng, J. Li, “Detailed Voxel-based Implicit Modeling With Local Boolean Composition of Discrete Level Sets”, 2017.
- [17] Д. Васић, “Модел геодетског премера савременим аквизиционим технологијама”, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2017.

Кратка биографија:



Миланка Грубачић рођена је 1986. год. у Фочи. Мастер рад на Факултегу техничких наука из области Геодезије и геоматике одбранила је 2023. год. Контакт: milanka.grubacic@gmail.com