



[8] 2020 8[1]

АГГ+ часопис за архитектуру, грађевинарство, геодезију и сродне научне области
AGG+ Journal for Architecture, Civil Engineering, Geodesy and other related scientific fields

064-075 Прегледни научни рад | Review scientific paper

UDK I UDC 621.396.96:004.42

DOI 10.7251/AGGPLUS2008064V

Рад примљен | Paper received 06/11/2020

Рад прихваћен | Paper accepted 04/12/2020

Мирослав Вујасиновић

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, miroslav.vujasinovic@aggf.unibl.org

Миодраг Регодић

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, miodrag.regodic@aggf.unibl.org

Стефан Кецман

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, kecman.s@hotmail.com

Прегледни научни рад
Review scientific paper
Рад прихваћен | Paper accepted
04/12/2020
UDK | UDC
621.396.96:004.42
DOI
10.7251/AGGPLUS2008064V

Мирослав Вујасиновић

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, miroslav.vujasinovic@aggf.unibl.org

Миодраг Регодић

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, miodrag.regodic@aggf.unibl.org

Стефан Кеџман

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, kecman.s@hotmail.com

СОФТВЕРСКА РЈЕШЕЊА ЗА ОБРАДУ ОБЛАКА ТАЧАКА

АПСТРАКТ

Прикупљање просторних података значајно је унапређено појавом LiDAR технологија и технологија ласерског скенирања. Резултат који произилази из снимања овим методама јесте облак тачака. Количина података која се добија захтијева специјализована софтверска рјешења за рјешавање задатака који се постављају пред инжењерску струку у овој области. У раду су описане технологије прикупљања података чији је резултат облак тачака, комерцијална софтверска рјешења за обраду облака тачака, те је представљено бесплатно софтверско рјешење Cloud Compare и његове предности.

Кључне ријечи: *Облак тачака, ласерско скенирање, LiDAR, Cloud Compare*

POINT CLOUD PROCESSING SOFTWARE SOLUTIONS

ABSTRACT

Spatial data collection has been considerably improved with the invention of LiDAR and other laser scanning technologies. The result of surveying with these methods is a 3D point cloud. The amount of data obtained requires specialized software solutions to solve the tasks set before the engineering profession in this field. The paper describes data collection technologies resulting in point clouds, commercial software solutions for point cloud processing, and presents an open source Cloud Compare software solution and its advantages.

Key words: *Point cloud, laser scanning, LiDAR, Cloud Compare*

1. УВОД

Развоју технологије прикупљања података допринијела је појава LiDAR (Light Detection and Ranging) или LaDAR (Laser Detection and Ranging) система у седамдесетим годинама прошлог вијека. Развоју су допринијели и напредак у ГНСС (Глобални навигациони сателитски систем) системима и IMU (Inertial Measurement Unit) системи који су омогућили прецизно одређивање положаја самог сензора. Комбинацијом свих система омогућено је одређивање хоризонталног и вертикалног положаја тачака с довољном прецизношћу за моделовање и картирање простора.

Подаци који су прикупљени технологијом ласерског скенирања организовани су у геореференциран облак тачака који служи као улазни податак при добијању дигиталних модела површина и терена, за добијање 3Д модела објеката и градова као и за добијање уздужних и попречних профила и за многе друге примјене.

Облак тачака представља скуп тачака који најчешће садржи десетине па и ститоне милиона тачака, у зависности од величине простора које је било предмет снимања. За добијање коначног продукта из облака тачака важан је избор софтвера у ком ће се вршити обрада. На тржишту постоји велики број комерцијалних софтвера и софтвера отвореног кода за добијање жељеног продукта.

2. ТЕХНОЛОГИЈЕ ПРИКУПЉАЊА ГЕОПОДАТАКА

Свједоци смо великог напретка на пољу технологија, усавршавању постојећих и развијању потпуно нових технологија. Остварен је напредак на пољу примјене рачунара у фотограметрији и развој дигиталне фотограметрије као и појаве потпуно нових техника, као што су радарско снимање и ласерско скенирање из ваздуха [10].

Посебан напредак остварен је у прикупљању геопросторних података:

- фотограметријским методама,
- терестричким ласерским скенирањем,
- LiDAR технологијама.

2.1. ФОТОГРАМЕТРИЈСКА МЕТОДА

Фотограметријска метода представља прикупљање поузданих тродимензионалних информација о физичким објектима и окружењу кроз процес снимања, мјерења и интерпретације фотографских снимака [10].

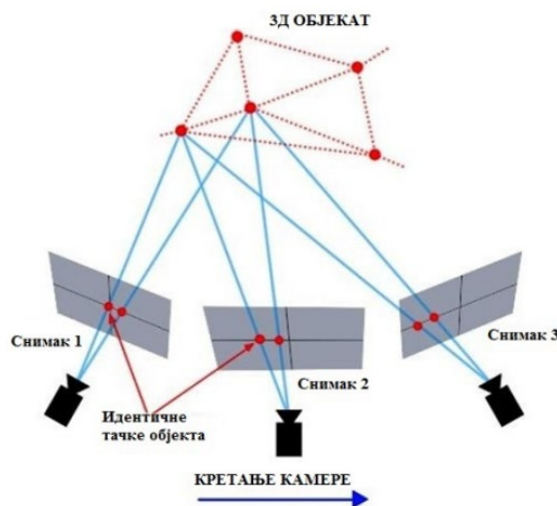
Данас, фотограметријска метода добијања облака тачака, подржана рачунарском обрадом, заснована је на методи SFM (Structure from Motion). SFM метода (Слика 1) је нискобуџетна метода мјерења и не захтијева скупе инструменте, а мјерења се могу обавити било којом врстом дигиталних камера, од SLR фотоапарата, мањих дигиталних фотоапарата, па чак и са камером на паметним телефонима.

Прва фаза SFM алгоритма обухвата проналазак идентичних детаља (кључних тачака) на више снимака. Основни проблеми у овој фази представљају велике варијације у размјери снимака и позицији камере те промјена освијетљености. Овај проблем се рјешава примјеном SIFT (Scale Invariant Feature Transform) алгоритма. SIFT алгоритам се темељи на детекцији и издвајању кључних тачака које се могу искористити за повезивање више различитих фотографија истог објекта. Издвојене кључне тачке на више снимака повезују се коришћењем RANSAC (RANDOM SAmple Consensus) алгоритма [15].

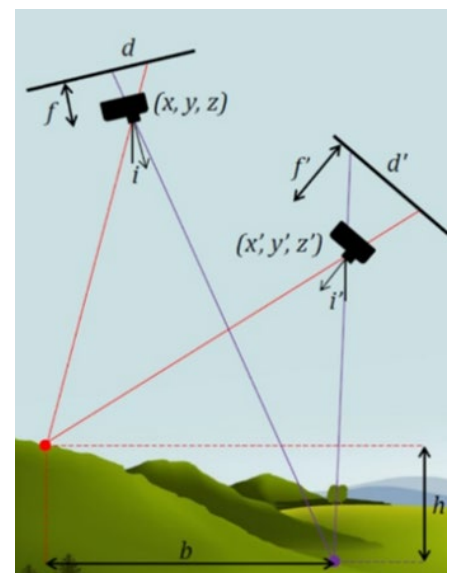
У другој фази се врши уклапање снимака и одређују се параметри камере примјеном ВА (Bundle Adjustment) алгоритма. ВА, приказан на Слици 2, врши оптимизацију позиција кључних тачака и положаја камере уз минимизирање квадрата грешке одступања измјерене и процијењене локације, и омогућава да се одреде [15]:

- позиције камера (x, y, z) , (x', y', z') ,
- оријентације i , i' ,
- жижине даљине f , f' , и
- релативне позиције одговарајућих детаља b , h .

Сљедећа фаза је генерисање ријетког облака тачака (sparse point cloud) на основу одређених параметара камере из претходне фазе и SFM тачака које се усвајају као контролне. Након тога се врши прогушћавање облака тачака и извоз тачака у жељени формат.



Слика 1. Детекција из покрета



Слика 2. Алгоритам Bundle Adjustment [15]

2.2. ТЕРЕСТРИЧКО ЛАСЕРСКО СКЕНИРАЊЕ

Терестричке ласерске скенере могуће је подијелити према начину снимања [13]:

- скенери камере,
- панорамски скенери, и
- хибридни скенери.

2.2.1. Скенери-камере

Начин снимања може се упоредити са фотограметријским камерама које имају ограничено видно поље (Field Of View – FOV). Овај тип скенера врши прикупљање података помоћу два синхронизована огледала која усмјеравају ласерски зрак. Прикупљање података овим скенером је непрактично јер је уско поље снимања. Предност овог метода огледа се у великом домету скенирања, неки и више од 1 000 m, што надокнађује овај недостатак [13].

2.2.2. Панорамски скенери

Поље снимања је ограничено базом инструмента; ово подразумјева да се врши скенирање око инструмента, осим подручја које се налази испод постоља инструмента. Прикупљање података врши се ротирањем једног огледала које усмјерава зрак у вертикалној равни у опсегу од 310°, те ротирањем инструмента у хоризонталној равни за 360° око вертикалне осе. Предност се огледа у величини подручја скенирања, док се као недостатак истиче кратак домет снимања. Највећу примјену налази у скенирању унутрашњих простора објеката [13].

2.2.3. Хибридни скенер

Подручје снимања у хоризонталној равни је 360°, док је у вертикалној равни ограничено на 60°. Хибридни скенери садрже призму или огледало које се ротира око хоризонталне осе. Прикупља податке по вертикалном углу од 60° у тренутном смјеру гледања. Овај тип инструмента најчешће се користи у пракси [13].

2.2.4. Lidar технологија

Појавом LiDAR технологије ласерског скенирања прикупљање података ушло је у нови период. Овим мјерним поступком повећана је брзина прикупљања података и количина информација која је се добије, при чему је смањена цијена рада на терену [13].

Ласерско скенирање из ваздуха врши се с платформи које могу да буду авиони, хеликоптери или дрoнови. Принцип одређивања положаја тачке врши се тако што ласерски скенер мјери растојање до тачке освијетљене ласером на површини Земље, те у комбинацији са ГНСС и ИМУ системима одређује позицију и оријентацију система. Позиционирање помоћу ГНСС система употпуњује се примјеном ГНСС базних станица, чиме се постиже већа тачност и поузданост одређивања положаја. Данас, у већини држава постоје развијене мреже перманентних ГНСС станица и нема потребе да се постављају засебне станице [13].

LiDAR системи опремљени су дигиталним камерама које у синхронизацији с ласерским скенирањем омогућавају, касније у обради, лакше препознавање објеката [13].

LiDAR системи користе различите врсте ласера, а сама рефлексија зависи од површине и таласне дужине. Ласери који раде на таласним дужинама блиским видљивом спектру имају јак степен апсорпције на воденим површинама, а водене површине неће бити видљиве на снимцима таквог скенера [13].

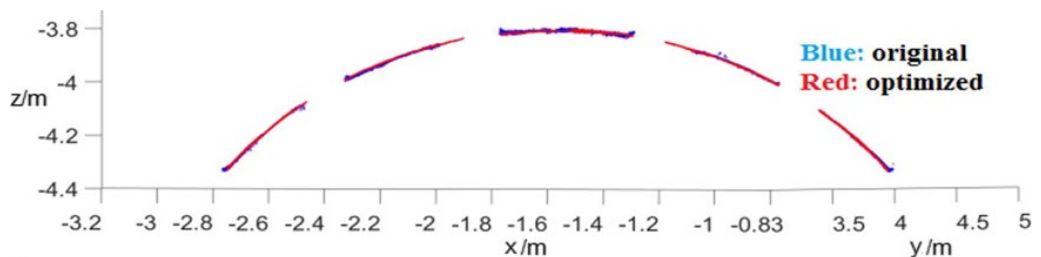
3. ПРИМЈЕНА ЛАСЕРСКИХ СКЕНЕРА

Примјена ласерских скенера у грађевинарству укључена је у све фазе, од пројектовања све до реализације пројеката. Код изградње саобраћајница ласерски скенери се примјењују за проверу стања коловоза и тако непосредно учествују у смањењу учесталости саобраћајних несрећа услед лошег одржавања путева. Ласерски скенери се увелико користе и при изградњи мостова, тунела, брана и зграда, за моделовање тих објеката [10] и [13].

Ласерско скенирање се сматра напреднијом техником у односу на класичне геодетске методе премјера (тотална станица, ГПС) које прате помјерање само одређеног броја тачака, ласерски скенер може опажати односно пратити деформацију читаве површине. Ласерски скенери су више него погодни за праћење деформација на капиталним грађевинским објектима попут мостова и брана [1].

Поступак праћења деформација објеката ласерским скенером састоји се од [9]:

- снимања (скенирања) објекта или површине ласерским скенером и дигиталном камером (у неколико епоха),
- обрада облака тачака и израда 3Д модела одабране површине,
- поређење модела из разних епоха и рачунање одступања (Слика 3.).



Слика 3. Поређење мјереног и оптималног одступања лука [7]

Ласерски скенери су нашли примјену у свакој грани људске дјелатности која захтијева прикупљање велике количине тачних 3Д података. За индустријске примјене утрошено вријеме је јако важан чинилац, јер треба избјегавати дуге периоде заустављања погона. Приликом снимања рафинерија или сличних полигона са мноштвом хоризонтално и вертикално разведених геометријских облика (цијеви, котлови), ласерско скенирање је посебно исплативо. Особине ласерских скенера који се употребљавају у индустрији су мали домет али велика резолуција скенирања [7].

4. СОФТВЕРСКА РЈЕШЕЊА ЗА ОБРАДУ ОБЛАКА ТАЧАКА

Примјеном ласерских скенера из ваздуха или терестричким ласерским скенирањем добија се велика количина података која, у зависности од карактеристика скенера, врсте објекта или параметара реализованог лета скенирања, може достићи и преко стотину тачака по метру квадратном. Успјешно коришћење података ласерског скенирања подразумијева класификацију тачака из облака према томе на које се објекте и/или појаве односе. За ове потребе развијен је велики број алгоритама који су имплементирани у оквиру комерцијалних и других софтверских алата за обраду података ласерског снимања [2]. У складу са потребама развијена су различита софтверска рјешења.

4.1. СОФТВЕРСКО РЈЕШЕЊЕ QT MODELER

Софтвер QT Modeler (Табела 1) развијен је у Johns Hopkins универзитету (САД), у лабораторији примијењене физике као алат за приказ 3Д модела, способан да обрађује било који тип 3Д података, без обзира на то да ли су снимљени кориштењем LiDAR технологије, терестричких ласерских скенера или било којих других геопросторних сензора [4].

Табела 1. Софтвер QT Modeler – основне информације

Произвођач	Applied Imagery (САД)
Web страница:	http://appliedimagery.com/
Актуелна верзија:	v 8.1.0
Цијена:	Непознато
Намјена:	3Д визуелизација геопросторних података

Ток рада у QT Modeler започиње увозом прикупљених података у бинарном LAS формату, XYZ формату или једном од стандардних формата самог софтвера. Од увезених података, QT Modeler израђује облаке тачака или TIN (Triangular Irregular Network) моделе који ће се даље обрађивати. Опције радног прозора кориснику омогућују увећавање, ротирање и навигацију кроз облак тачака, као и неколико додатних операција унутар самог облака тачака или TIN модела попут уређивања, појачавања, анализе и извоза података. Уређивање подразумијева могућност исјецања, премјештања и измјене дијелова облака тачака, док опције појачавања омогућују подешавање освјетљења и преклапања снимака. Алатке за анализу пружају могућности симулације поплава, анализе видокруга са одређене тачке терена, анализу хистограма висина, прорачун нагиба, посматрање и откривање измјена на терену. Опција извоза података омогућује извоз облака тачака и модела површина у разне формате који укључују сликовне формате попут .bmp, .jpg или .tiff и видео формате попут .avi формата [4].

4.2. СОФТВЕРСКО РЈЕШЕЊЕ TERRASOLID SUITE

Софтвер Terrasolid Suite (Табела 2) је најкомплетније и најнапредније софтверско рјешење за управљање, обраду и анализу података прикупљених LiDAR системом. Читав пакет се састоји од четири главна пакета: TerraModeler, TerraScan, TerraPhoto и TerraMatch. Terrasolid Suite је дизајниран да се покреће кроз виртуелну машину Microstation унутар CAD софтвера, што је предност само по себи, јер омогућује рад у CAD окружењу док се

обрађују LiDAR подаци и лако су доступне алатке за визуелизацију, додавање или помјерање вектора, дефинисање ознака, плотање [2].

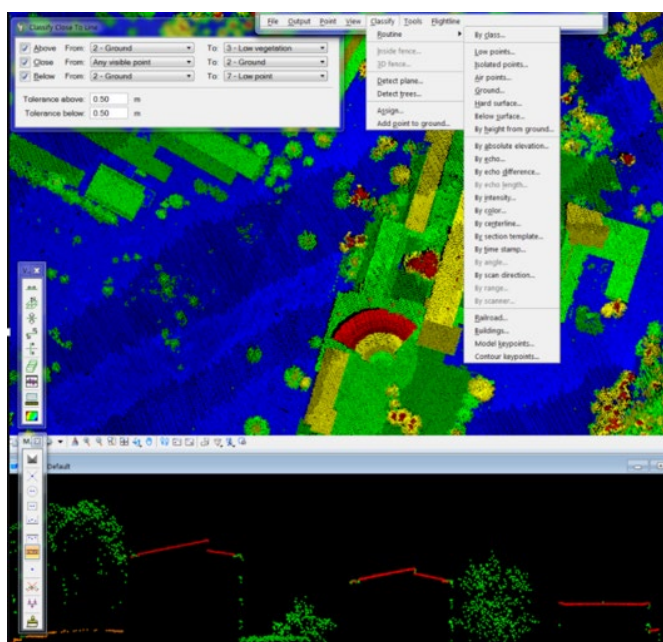
Табела 2. Софтверско рјешење Terrasolid Suite – основне информације

Произвођач	Terrasolid Ltd. (Финска)
Web страница:	http://www.terrasolid.com/products/terrascanpage.php
Актуелна верзија:	020.029
Цијена:	TerraScan: \$ 7 700; Terrasolid Suite: \$ 14 700
Намјена:	Напредно управљање LiDAR подацима

Софтверско рјешење TerraScan за обраду облака тачака, аутоматски је интегрисано унутар Microstation софтвера. Неке од функција за обраду облака тачака доступних у TerraScan софтверу су [2]:

- интерактивна класификација 3Д објеката као што су торњеви и зграде,
- брисање непотребних тачака или грубих грешака у дефинисаном простору,
- уклањање непотребних тачака филтрирањем облака тачака,
- аутоматска детекција електричних водова или кровова,
- извоз модела висина у облику растерске слике,
- пројектовање тачака у профиле,
- извоз класификованих тачака у текстуалне документе, и
- могућност трансформације координата.

Највећа предност TerraScan софтвера је способност управљања великим количинама података, тако што за поједине скупове података креира пројекте и на тај начин раздваја податке у мање цјелине које се могу обрађивати независно једни од других (Слика 4) [2].



Слика 4. Радно окружење TerraScan софтвера [2]

4.3. СОФТВЕРСКО РЈЕШЕЊЕ MERRICK ADVANCED REMOTE SENSING SOFTWARE – MARS

Доступно је пет верзија софтвера: MARS FreeView, MARS Explorer Evaluation, MARS Explorer, MARS ExplorerQC и MARS Production (Табела 3). За обраду података прикупљених LiDAR системом користи се LAS формат [3].

Табела 3. Софтверско рјешење MARS – основне информације

Произвођач	Merrick & Company (САД)
Web страница:	https://www.merrick.com/services/geospatial-services/software/
Актуелна верзија:	2020.1
Цијена:	MARS FreeView: \$0 ; MARS ExplorerQC: \$10 000
Намјена:	Визуелизација облака тачака и основна обрада

Софтвер директно учитава .las документе или ASCII документе који се лако претворе у .las уз помоћ алатке за увоз података. Функције доступне у плаћеном софтверском пакету укључују [3]:

- неограничен капацитет складиштења података прикупљених LiDAR технологијом,
- подржава LAS формат, растерске и векторске формате података,
- аутоматска израда 2Д и 3Д модела и обрада облака тачака и TIN података,
- подржава WMS формате,
- могућност обраде више скупова података истовремено, што обезбјеђује максималну искористивост перформанси рачунара,
- алатке за класификацију и филтрирање облака тачака,
- алатке за преклапање и профилисање облака тачака, и
- могућност трансформације 3Д координата из LAS формата.

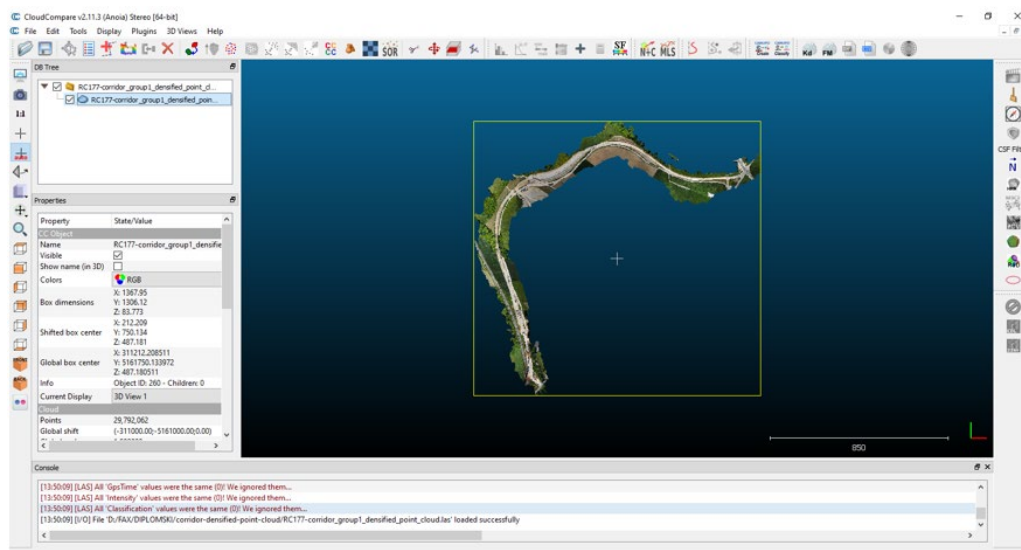
4.4. СОФТВЕРСКО РЈЕШЕЊЕ CLOUD COMPARE

CloudCompare је софтвер отвореног кода за обраду 3Д облака тачака. Прва верзија софтвера је развијена током сарадње телекомуникацијске компаније ParisTech и истраживачке лабораторије Француске електродистрибиције, 2003. године. Основна намјена CloudCompare је била брзо и успјешно откривање насталих деформација и промјена у 3Д облацима тачака високе густине, који су снимљени ласерским скенерима у индустријским постројењима (термоелектране и сл.) или грађевинским радилиштима. Касније је развијен у софтвер за општу и напредну обраду 3Д података. Данас је независан пројекат отвореног кода и бесплатан софтвер [14].

Софтвер CloudCompare садржи низ основних алатки за уређивање и обраду 3Д облака тачака. Поред тога, укључује напредне алгоритме за обраду података који омогућују извршавање операција попут [14]:

- приказ снимка у више пројекција (правоугле, цилиндричне, конусне),
- регистрација облака тачака (ICP метода),
- рачунање растојања (између два облака тачака, између облака и мреже троуглова, између двије појединачне тачке),
- тест статистика, и
- процјена геометријских особина.

Софтвер CloudCompare корисницима омогућава да директно издвоје појединачне 3Д објекте (исцртавањем 2Д полилиније око објекта од интереса), ротацију или транслацију једног или више сегмената у односу на остатак облака тачака, одабир појединачних тачака или пара истих (с циљем одређивања растојања између одабраних тачака), као и одабир три тачке с циљем одређивања угла између њих и површине равни коју заклапају (Слика 5) [14].



Слика 5. Радни прозор CloudCompare софтвера

Софтвер CloudCompare корисницима омогућава да директно издвоје појединачне 3Д објекте (исцртавањем 2Д полилиније око објекта који издвајамо), ротацију или транслацију једног или више сегмената у односу на остатак облака тачака, одабир појединачних тачака или пар истих (с циљем одређивања растојања између одабраних тачака), као и одабир три тачке с циљем одређивања угла између њих и површине равни коју заклапају [14].

Формати подржани у CloudCompare софтверу су BIN, ASCII, PLY, OBJ, VTK, STL, LAS, PCD, FBX, SHP, PTX (Leica), FLS (Faro), RDB/RDBX (Reigl), OFF mesh (Geomview) [14].

4.4.1. Мјерење и цртање у CloudCompare

Софтвер CloudCompare пружа могућности једноставног мјерења растојања између одабраних тачака унутар облака тачака, површине подручја између три одабране тачке као и растојања између истих, те растојања између два облака тачака или облака тачака и троугласте мреже[14].

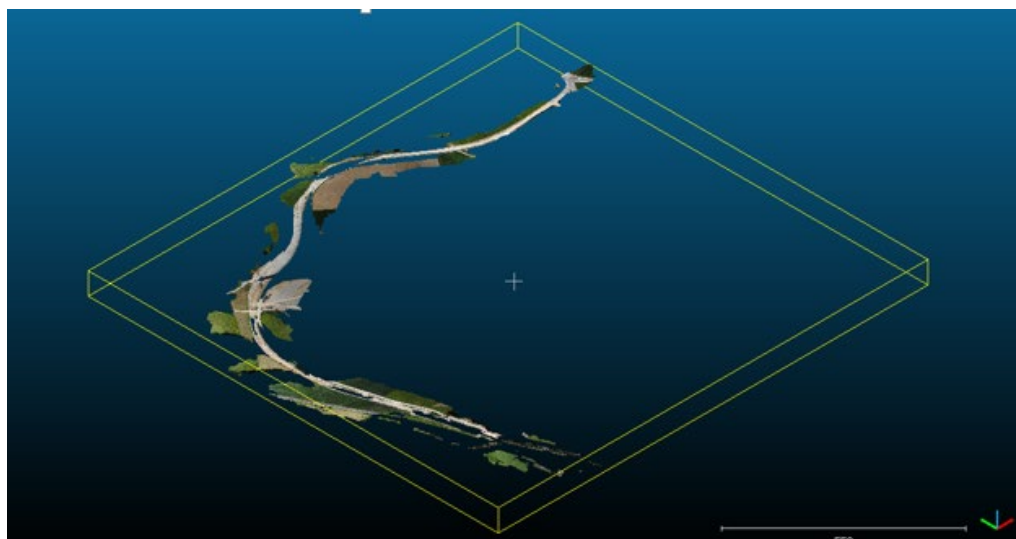
За одабир појединачних тачака дефинисана је опција Point Picking унутар главног менија с командама која омогућава одабир једне тачке и приказ координата и података о боји одабране тачке, одабир двије тачке и приказ растојања између њих уз координатне разлике између тачака, одабир три тачке и приказ површине омеђеног подручја, растојања између тачака и информација о координатним разликама тачака (Слика 6).



Слика 6. CloudCompare мјерење (тачка, дужина, површина)

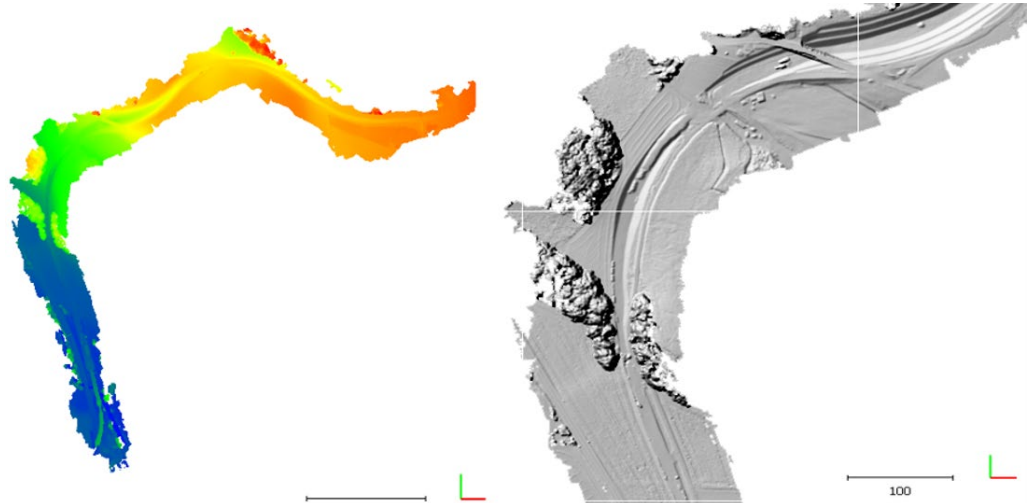
4.4.2. Класификација

За класификацију облака тачака у оквиру CloudCompare софтвера користи се додаток CSF Filter (Cloth Simulation Filter) који омогућава брзу класификацију тачака тла и тачака које не припадају тлу. Наведена опција налази се унутар линије менија са командама под Plugins → CSF Filter. За класификовање помоћу CSF Filter потребно је дефинисати тип терена (врло стрм, средње брежуљкаст и претежно раван) на којем је облак тачака снимљен, што даље утиче на алгоритам одабира тачака тла и тачака које не припадају тлу током саме класификације и подесити оштрину ДМТ и праг класификације (граничну вриједност висинске разлике између тачке тла и тачке која не припада тлу) (Слика 7).



Слика 7. Класификован облак тачака

У оквиру CloudCompare софтвера креирање вертикалне представе терена на основу облака тачака врши се уз помоћ Rasterize опције и функције Contour Plot. Облак тачака трансформише се у растерски формат те се затим дефинишу изохипсе са заданим особинама. Покретањем наведене опције отвара се мањи радни прозор гдје се могу дефинисати карактеристике растера који ће бити генерисан и вертикалне представе терена, укључујући почетну висину изохипси, висинску разлику између сусједних изохипси и слично. Опција Rasterize пружа додатне друге могућности попут креирања осяенчене представе терена (Слика 8).



Слика 8. Креирани модел терена из облака тачака

5. ЗАКЉУЧАК

Обрада велике количине података, као што су облак тачака, захтијева специјализована софтверска рјешења која треба да одговоре на захтјеве корисника. Вријеме за прикупљање података о терену или објектима од интереса значајно је смањено, док је вријеме за обраду података повећано. Сам избор софтвера у ком се изводи обрада и презентација података зависи од количине посла; најважнији фактор је цијена.

Cloud Compare је бесплатно софтверско рјешење које може да одговори на задатке који се постављају пред кориснике. Поред функција које долазе у основној верзији (мјерење, исцртавање садржаја, међусобно поређење облака тачака, извоз у CAD формате), Cloud Compare има велики број додатака које, сами корисници, могу да креирају и касније примјењују за рјешавање инжењерских задатака. Главна предност овог рјешења јесте цијена и једноставност, те се истиче као први програм за учење и савладавање техника обраде облака тачака као бесплатно рјешење.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Радовановић, У.: Векторизација 3Д модела на основу облака тачака, 2016, Нови Сад.
- [2] Terra Solid, адреса: <http://www.terrasolid.com/products/terrascanpage.php>, приступљено: новембар 2020.
- [3] MARS, адреса: <https://www.merrick.com/services/geospatial-services/software/>, приступљено: новембар 2020.
- [4] AppliedImagery, адреса: <http://appliedimagery.com/>, приступљено: новембар 2020.
- [5] Недељковић, О. Ј., Говедарица, М. и Нинков, Т.: „Анализа методе измјере грађевинских објеката 3Д ласерским скенерима“, Геодетски лист, Заграб, 2011.
- [6] Kraus, K.: Fotogrametrija 1, Knjiga 1, Naučna knjiga, Beograd.
- [7] Melzer, T.: „Extraction and Modeling of Power Lines from ALS Point Clouds“, 2004.
- [8] Wilfried, L.: Digital Photogrammetry, Springer, 2009.
- [9] Foster, S., Halbstein, D.: Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Design, Springer, 2014.

- [10] Konecny, G.: Geoinformation, Remote sensing, photogrammetry and geoinformation systems, CRC Press, 2014.
- [11] Rodriguez, J.: Laser Scanner Technology, InTechOpen, 2014.
- [12] Wietkamp, C.: Lidar, Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere, Springer, 2005.
- [13] Vosselman, G., Hans-Gerd Mass: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, CRC Press, 2010.
- [14] CloudCompare user manual, адреса:
<http://www.cloudcompare.org/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf>, приступљено: новембар 2020.
- [15] Вујасиновић, М., Недић, Ј., Антуновић, Б., Регодић, М., Примјена аматерских беспилотних летјелица у фотограметрији, АГГ+, 2020.