

Получена: 22.12.2017 г.

Приета: 28.05.2018 г.

ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА ПРЕД МОДЕЛИРАНЕТО НА ОБЛАЦИ ОТ ТОЧКИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДЕФОРМАЦИИ

Г. Антова¹

Ключови думи: моделиране на облаци от точки, наземно лазерно сканиране, определяне на деформации

РЕЗЮМЕ

Голямото предимство на лазерното сканиране е, че то осигурява 3D информация за обекта. В доклада се дискутира получаването на модел на повърхнина, който най-добре да описва обекта. В общия случай, това е сложен проблем, защото измерените точки са неорганизиранни и с регистрирани шумове в информацията за тях. Представени са различни методи за генериране на повърхнина: като непрекъсната мрежа от непокриващи се триъгълници или четириъгълници, апроксимиране на параметрични повърхнини (полиноми от ниска степен) по метода на най-малките квадрати, както и генериране на известни повърхнини (за равнини, сфери, цилиндри). Направен е сравнителен анализ на методите за моделиране на облаци от точки, касаещи определянето на деформации. Специално внимание е обърнато на площните деформации.

1. Въведение

Получените в резултат на наземно лазерно сканиране (НЛС) облаци от точки се моделират за различни цели: визуализация на сканираните обекти, от различни перспективи, генериране на цифров модел на терен и сгради за целите на планирането, представяне на конструктивни елементи на сгради в информационни системи, например Строителен Информационен Модел [7], както и задачи за реконструкция на вече изградени обекти, за да се сравнят с проектните им планове. Това са само някои примери за

¹ Гергана Антова, ас. инж., кат. „Геодезия и геоинформатика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: antova_fgs@uacg.bg

приложение. Всеки от тези примери е ключова задача в най-малко една дисциплина. Задачите за моделиране се прилагат върху обекти с различен размер и имат различни изисквания към точността. Този фокус е особено важен при задачи, свързани с моделиране на облаци от точки за определяне на деформации и задачи от чисто геодезическа гледна точка [20].

В инженерната геодезия НЛС се използва, за да се регистрират промени в геометрията на измервания обект. Тъй като не могат да се измерват едни и същи точки в различните епохи, това води до необходимостта от моделиране на облаците. Последните години са разработени и утвърдени различни методи за моделиране. В [24] е представена детайлна класификация на методите за моделиране. Всички методи следват 4 основни стъпки:

- предварителна обработка, за да се елиминират грешните и натоварени с шумове данни;
- определяне на глобалните свойства на повърхнината на обекта, което отчита възможни „ограничения“ за да се запазят характерни точки (като възли);
- генериране на полигонова повърхнина като мрежа от триъгълници или четириъгълници, но също така се използват и параметрични повърхнини (полиноми от ниска степен) и известни повърхнини (за равнини, сфери, цилиндри);
- последваща обработка на модела, за да се подобри полигоновата повърхнина.

Олман [24] публикува систематизация на тези методи като въвежда пет категории, които се използват за определяне на деформации и се характеризират от геометрични примитиви:

- 1) модели от точки (точкови модели) – отделни единични точки;
- 2) модели, базирани на облаци от точки;
- 3) модели на повърхнини – регулярни и нерегулярни цифрови модели;
- 4) геометрични модели – непрекъснати повърхнини;
- 5) параметрични модели – апроксимиращи повърхнини.

Сравнението на отделни точки рядко се използва при повторни измервания с НЛС, защото не можем да измерим идентични точки при две различни сканирания. При моделите от облаци от точки връзката между облаците се определя чрез алгоритми на основата на трансформации – Iterative Closest Point (ICP), Least Square 3D (LS3D) [1, 2]. При моделите, базирани на повърхнини, облаците се моделират като мрежа от регулярни и нерегулярни фигури (непрекъснати регулярни и нерегулярни повърхнини). При геометричните и параметричните модели облакът от точки се представя чрез познати математически повърхнини (сфера, цилиндър, равнина и др.).

Геометричните модели се опитват да опишат промените в твърдо тяло в положение и ориентация (преместване в пространството). Параметричните модели могат да се разгледат като продължение на предишния метод, но тук деформациите се установяват със статистически анализ и оценка на промяната на параметрите на повърхнината.

Целта на представеното по-долу сравнение е от една страна да се направи преглед на проучванията, касаещи моделирането на облаци от точки за определяне на деформа-

ции. Специално внимание е обърнато на площните деформации с оглед на изменение на формата на изследвания обект.

2. Предизвикателството

Тъй като няма предварително сигнализирани точки при използването на лазерно сканиране, няма и идентични точки, които да се сравняват между две епохи. По тази причина можем да съдим за това дали даден обект се деформира само посредством площно моделиране. Този факт директно води до няколко предизвикателства [15]:

- 1) Да се анализира влиянието на ъгъла на отразяване и гъстотата на сканиране върху точността на модела. Конфигурацията на параметрите на изравнение за деформационен анализ вече не се задава от инженер геодезист като задава броя и положението на наблюдаваните точки, а от лазерния скенер. Само местоположението на скенера и гъстотата на сканиране могат да се контролират.
- 2) Да се намери подходяща моделираща повърхнина, чрез която да се определят параметрите на деформация, които са неизвестни и вероятно са разпределени по цялата повърхност.
- 3) Да се разшири модела на грешките, тъй като в процеса на определяне на деформации се включва и моделиране на повърхнина. Това обединява метрологичните, както и моделните грешки, които се появяват от недостатъчното познаване и опростяването на повърхнината на обекта.

Всички тези предизвикателства са моделно ориентирани. Допълнително трябва да бъдат разгледани някои метрологични аспекти от използването на лазерни скенери, особено при високоточни деформационни приложения:

- 1) измерванията от лазерния скенер са зависими. Следователно, трябва да бъдат изследвани методи за определяне, измерване и обединяване на тези корелации;
- 2) Лазерните скенери страдат от вътрешни систематични грешки, които водят до систематичен ефект върху облака от точки. Тези недостатъци трудно могат да бъдат изолирани от площните деформации, от които се интересуваме. Затова трябва да се търсят методи за калибриране на лазерните скенери.

3. Моделиране на облаци от точки за определяне на площни деформации

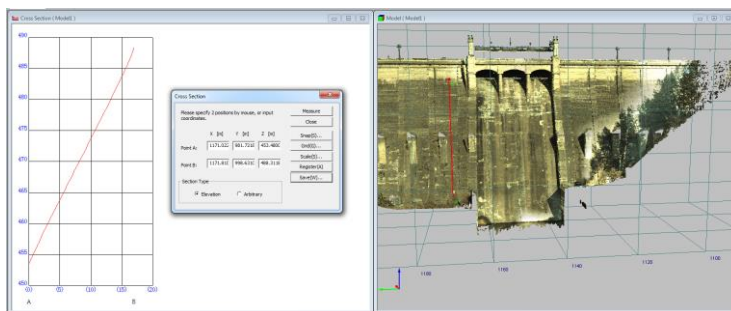
При деформационни приложения в днешно време получаването на облак от точки като краен продукт не е достатъчно. Само чрез моделиране на геометричната информация за обекта може да се направи качествен последващ деформационен анализ. Съществуват примери за успешни проекти за моделиране на облаци от точки с цел определяне на промяна на формата на мостове, тунели, язовирни стени, високи обекти, радиотелескопи, превозни средства и други природни обекти.

3.1. Моделиране на язовирни стени

В инженерната геодезия стандартната задача за определяне на деформации на язовирни стени между две епохи се решава с измервания с тотална станция и прецизна нивелация. В комбинация на двата метода с точност, по-висока от милиметър, могат да бъдат определени 2D деформации от тотална станция и промяна във височинно положение от нивелация. В последните години лазерните скенери се използват за допълващи измервания за бетонни язовирни стени [26]. В тези случаи лазерните скенери ползват моделиране на облака от точки, за да определят площните деформации на целия въздушен откос на язовирната стена. За да бъде възможно комбинирането на всички видове измервания и последващото им сравнение в различни епохи, е необходима точна регистрация (геореферирание). Това се постига чрез поставяне на трайни марки или контролни точки извън деформационната област [5]. Алба [4] изследват за деформации язовирната стена на Sapasano Lake (Италия) с височина 136 m и дължина по короната 381 m. За да анализират потенциала на площните деформации между две епохи, те правят предварителна обработка на облака от точки, като го трансформират в регулярна 2D мрежа, за да получат два еднакви регулярни облака от точки. След това от двата облака или се създава TIN модел, или се интерполира регулярна полиномна 3D повърхнина. Сравнението след това между отделните епохи е извършено по различни начини: мрежа с облак от точки, мрежа с мрежа, полиномна повърхнина с облак от точки, полиномна повърхнина с полиномна повърхнина. При всички случаи най-краткото разстояние между двата модела се използва, за да се представят деформациите. Докато първите два анализа са използвани повърхнини генерирани от меш от облаци от точки, другите два са геометрично базирани чрез използване на полиномно представяне на деформациите. Трябва да се отбележи, че резултатите от отделните методи варират в границата на 1/6 на максималната деформация, регистрирана в средната част на стената.

Използвайки радиални базисни функции [11] анализират площни деформации на бетонна язовирна стена Las Cogotos (Испания) висока 66 m и дълга 300 m. Радиални базисни функции (РБФ) са използвани, за да се построят параметрични 3D повърхнини. За да се намали влиянието на празнините и големите грешки, е направено строго параметрично изравнение. След това тези 3D повърхнини са пресечени с множество ортогонални сечения (хоризонтални и вертикални), които се сравняват за различни епохи. Това изследване е геометрично базирано с оглед използването на апроксимация с радиална базисна функция.

Вертикални сечения са използвани и от [6] за яз. Студена в България (фиг. 1). От направеното сравнение между профилите на язовирната стена върху нерегулярен модел на повърхнината с гъстота на точките през 1 cm и 10 cm е установено, че няма разлика между тях.



Фиг. 1. Профил върху модел на повърхнината с гъстота на точките през 1 cm

Стената на язовир Окег (Германия) с височина 74 m и дължина 260 m е обследвана от Елик [9]. Формата на тази стена може да се представи с елипсоид. За да се сравнят измерените повърхнини от двете епохи, математически са дефинирани блокове. За всяка група от точки е апроксимирана равнина от всички точки и всички точки се представят след това с една точка (представяща) принадлежаща на равнината. Разликата между точките, представляващи идентичните равнини от различни епохи, са критерий / измерител за анализ на деформациите. Деформациите на стената се анализират индивидуално за всеки блок. Този метод по същество намалява сканирания облак от точки от няколко милиона до по-малък брой представителни за всеки блок от точки, които се приемат за идентични за двете епохи. Това свежда задачата от площно ориентирана по данни от НЛС до общоизвестния анализ на идентични точки (но пак говорим за хиляди точки, много повече, отколкото при конвенционалните геодезически измервания). Доколкото апроксимацията на равнини е в основата на анализа, този метод може да се причисли към групата на геометрично базираните методи. В същото време този модел може да се разгледа и като облак от идентични точки, които се сравняват.

3.2. Моделиране на кули (високи обекти)

Кулите (охладителни, водонапорни и телевизионни например) и кулоподобните съоръжения като пилони на мостове и комини, обикновено са с малка стъпка на земята и с голяма височина. Поради тази причина повечето пъти деформационният анализ с лазерно сканиране на тези съоръжения има за цел да опише отклонението от вертикалната ос (наклона на съоръжението), което се променя с промяна на височината.

Пески [23] използват лазерно сканиране, за да анализират площните деформации, появили се след земетресение, на историческата висока 97 m Asinelli tower, Болоня, Италия. Кулата е на 900 години. Тя има квадратно сечение и се състои от части построени с различни материали – тухли и каменни блокове. Имайки предвид тази променлива структура, както и въздействията, на които е била подложена през тези години, кулата не може да бъде моделирана с полином от 2 степен и няколко параметъра.

Чрез апроксимиране на равнина поотделно за всяка от четирите части на кулата могат да бъдат анализирани наклонът на равнината, както и отклонението на облака от точки от тази равнина. Тъй като облакът от точки е моделиран на базата на геометрични примитиви и се анализират ориентацията на тези примитиви, това спада към геометрично базираните методи. Изчислено е наклоняване на кулата с няколко десетки сантиметри на върха.

За деформационен анализ на охладителна кула Йоанидис [18] използва двустепенен геометрично базиран деформационен анализ. Първо се моделира облака от точки като повърхнина със свободна форма (free form surface) посредством Non-uniform rational B-spline (NURBS). Във втората стъпка този модел се сравнява с полиномна повърхнина от втора степен приложена на облака от точки. Разликата между двата – квадратичен и NURBS модел, определя площните деформации на охладителната кула сравнени с теоретичната форма.

Копачик [19] следят деформациите на Liberty bridge, който е част от велоалеята между Братислава (Словакия) и Шлосхоф (Австрия). Част от този мост са пилоните на моста, които са кулообразни. За да се анализира тяхното вертикално преместване, са извлечени хоризонтални сечения с дебелина 0,2 m. Тези сечения се проектират в една равнина и 3D облакът се редуцира в 2D сечения, които се апроксимират по МНМК с елипси и се анализират преместванията на техните центрове по протежение на кулата, като се получава нейната вертикална ос. Тези елипси са квадратични 2D функции, ана-

логични на елипсоид в 3D пространството [21] С пет сечения за всеки пилон се определя осовата линия за всеки пилон и от нея са измерени вертикални премествания от няколко десетки милиметра. И тук е използван геометричен модел и извлечените/неговите параметри се използват за определяне на деформации. Този модел е по-скоро параметрично базиран, въпреки, че не е доказана значимостта на параметрите.

Процедурата [19] е много близка с тази на [26]. За да се определи наклонът на телевизионна кула, същата е сканирана и след това е редуцирана до няколко хоризонтални сечения на различна височина. За апроксимацията е използван модел на окръжност, която е квадратична функция в 2D пространството, т.е. елипса с равни полуоси. Линията, свързваща центровете на окръжностите, илюстрира изместванията на вертикалната ос. Отново този модел е параметрично базиран без анализ на значимостта на определените параметри.

3.3. Моделиране на тунели

Целта на използването на 3D лазерни скенери в тунелното строителство е определяне на формата на изградения тунел и сравнение с проектния модел, следене на някои тунелни профили за геометрични промени под въздействие на различни външни напрежения – това е основното приложение, както и обследване на повърхността. Тези три приложения са представени в следващите работи.

Гослига [14] разглеждат отклонението на наблюдавания тунел от проектната цилиндрична форма от една страна и деформациите, явили се между две епохи измервания. В първия случай се прилага директна апроксимация с уравнение на цилиндър. Наложени са ограничения на измерените отклонения в радиално направление, което позволява строго изравнение. Оценката на деформациите е направена по разликите/поправките, получени от изравнение по МНМК, и това причислява това проучване към геометрично базираните модели. Основата на сравнението между различните епохи е фиксирана мрежа, която е дефинирана по теоретичната форма на тунела. Координатите на всички точки от една епоха, лежащи на един елемент от мрежата, са осреднени. Деформациите са разликите на тези средни стойности от грида/мрежата.

Този подход се причислява към повърхнинно базирани модели, въпреки че има статистическа обработка, доказваща значимостта на получените деформации.

Друг геометричен модел е предложен от Делой и Валтон [8, 27]. Техният подход използва като начало разделянето на облака от точки на няколко секции по дължина на тунела. Избрана е дължина на секцията 1 m. Изравнението на кореспондиращите сечения от две епохи е извършено с ICP алгоритъм. След това дължината на секцията е намалена и е приложено ново изравнение с ICP. Това е итеративен процес, докато дължината на секцията достигне шума на скенера. В резултат се получават съответстващи сечения от облака от точки от двете епохи. По тези сечения се апроксимира най-добре пасваща елипса. Два метода за апроксимация са представени и сравнени един с друг – алгебричен с полином от втора степен и геометричен, който минимизира разстоянията между двете сечения в радиално направление. Авторите изтъкват предимствата на алгебричния метод. Информацията за деформациите, извлечени от разликите между елипсите, получени от апроксимация, съдържат изчислените радиални премествания. Разликите са изброени като са преувеличени с мащабен фактор.

Като допълнение към деформациите на вътрешната извивка на тунела, чието определяне е целта на всички разгледани досега изследвания Олман-Бартусел [22] определя деформациите на лицето на тунели (heading face), построени по New Austrian Tunneling Method. От сканирания облак от точки е създадена нерегулярна повърхнина и

е предложен повърхнинно базиран модел, състоящ се от няколко компонента. Преди интерполацията първо е направена извадка от данните по точки от фиксирана мрежа. По този начин се получава приблизително хомогенно разпределение на измерените точки върху сканираната повърхнина. Това предотвратява по-високата тежест при интерполирането на измерванията на местата с по-голяма гъстота. За да се намали шумът се прилагат биномни филтри, които намаляват шума 2 – 3 пъти. Третият компонент е автоматично елиминиране на псевдодеформациите. Накрая се отбелязват/изобразяват местата с допълнителен тонкрет или падане на мазилката.

3.4. Моделиране на мостове

Изследването на деформации на мостове с НЛС обикновено е фокусирано върху откриване на деформации на горната структура. В този случай тя се наблюдава от долната страна без спиране на пътния поток (за разлика от нивелацията). Всички методи, разгледани тук, са причислени към геометрично базираните методи [22].

Копачик [19] докладват резултати от измервания в различни епохи на няколко моста в продължение на 4 години. Те винаги следват една и съща методика описана в [10]. Трансформирането на облаците в една координатна система е реализирано с контролни точки, които са в основата на сравнението по конвенционални измервания. За анализиране на облаците, повърхнината на моста е разделена на квадратни елементи. Размерът на елементите е адаптиран/съобразен с формата на моста. От измерванията, попадащи във всеки елемент, са апроксимирани равнини. Геометричната информация за състоянието на структурата се представя чрез височината на центровете на тези равнини. След това деформацията се извлича от разликите във височините на тези точки. Тяхната статистическа значимост е изчислена чрез отчитане точността на скенера. Получените по този начин деформации показват несъответствие от 3 mm в сравнение с резултатите от геометрична и тригонометрична нивелация.

3.5. Моделиране на специални обекти

Освен разгледаните досега групи обекти, и други единични по рода си обекти са анализирани чрез НЛС и площни деформации. Това обикновено са обекти с известна геометрична форма и разликите между теоретичната и апроксимираната повърхнина се използват за определяне на локални деформации. Тъй като изчислените параметри и разликите от теоретичната форма се използват за деформационен анализ, моделите са геометрично и параметрично базирани.

Деформациите на основния рефлектор на радиотелескоп са анализирани чрез параметризация с елипсоиден параболоид и са описани в [16, 17, 25]. Гайст [13] използва радиални базисни функции за анализ на деформации във формата на корпуса на яхта. Използва се сравнение между апроксимирана повърхнина и проектна повърхнина чрез минимизиране на квадрата на разстоянията между тях.

Гордън и Лихти [12] показват приложимостта на НЛС за анализ на бетонна греда. Те съставят деференциално уравнение, което води до полиномен модел, параметризирайки отклонението на гредата в резултат от различни натоварвания. Определените параметри определят степента на деформациите, които са доказани с тест за значимост. С параметрично базиран модел те показват, че вертикалните премествания се увеличават с увеличаване на натоварването.

Деформациите на отделни компоненти на автомобил в резултат на катастрофа са анализирани в [28]. Те използват ICP алгоритъм за напасване на локални повърхнини:

базира се на построяване на локални парчета (части) от повърхнината, чиито трансформации между две епохи показват наличие на локални деформации. Това е повърхнинно базирана процедура.

4. Заключение

Както може да се види от прегледа в точка 3, за моделиране на облаци от точки на технически обекти основно се използват геометрични и параметрични модели, докато при природни обекти – модели, базирани на повърхнини. Това може да се обясни с факта, че повърхностите на техническите обекти са предварително моделирани/проектирани чрез използване на основни геометрични елементи. От друга страна природните обекти са с грапави неравни повърхности поради природни процеси влияещи върху формата им. Освен това може да се забележи, че сред геометричните и параметрични модели полиномите от втора степен са най-често използваните за моделиране на облаци от точки.

Основното предимство на тези методи е високото качество на деформационните параметри по отношение на качеството на оригиналните данни от НЛС. Ограничението на тези методи е свързано с необходимостта да се разчита на определен модел на повърхнина, което изисква анализ, зависим от конкретната задача, приложим само за обекти с определени геометрични характеристики. Освен това, ако деформацията е от изчисление на разлики между модели на повърхнини, определени за различни епохи, вж. [3], определеното деформационно поле е 1D. Същото това ограничение се наблюдава и при сравнение на модели, базирани на повърхнини. Важно е обаче да се отбележи, че влиянието на това ограничение несъмнено зависи от типа на приложението. Всъщност в някои случаи 3D информацията не е необходима или няма смисъл.

Основното заключение, което може да се направи, е че няма утвърден метод за моделиране на облаци от точки, използван като основен в обществото на инженерната геодезия. Някои изследователи доказват приложимостта на развитите от тях методи за различни видове/типове обекти, но техните методи не са използвани от много геодезисти за други приложения. Освен това, предварителната обработка на облаци има много разновидности в различните изследвания. За разлика на деформационния анализ, базиран на общи точки, където приети и утвърдени методи за предварителна обработка са проверка за нормално разпределение или филтри на Калман, не е такъв случаят с пространствения мониторинг базиран на облаци от точки. Много важни аспекти за моделиране на облаци от точки остават нерешени досега и трябва да бъдат оценени и сравнени, а именно: подходящи стъпки за предварителна обработка, строгост на изравнението, чувствителност за малки деформации и комплексност. Основното предизвикателство пред изследователите през следващите години е развитие на методология, общоприета от гилдията.

ЛИТЕРАТУРА

1. Akca, D. 2007a. Matching of 3D surfaces and their intensities. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 62(2): 112-121.
2. Akca, D. 2007b. Least Squares 3D surface Matching. Ph.D. thesis, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich.
3. Alba, M., Fregonese, L., Prandi, F., Scaioni, M., Valgoi, P. Structural monitoring of a large dam by terrestrial laser scanning, IAP. Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36 (Part 5); 2006.

4. *Alba, M. et al.* Geometric Modelling of a Large Dam by Terrestrial Laser Scanning. XXIII FIG Congress, Munich, Germany, October 8-13, 2006.
5. *Antova, G.* Registration process of Laser Scan Data in the field of deformation monitoring. WMESS2015, Prague, Czech Republic, 7-11 September 2015. In: *Procedia Earth and Planetary Science*, pp. 549-552, ISSN: 1878-5220, 2015.
6. *Antova, G.* Terrestrial Laser Scanning for Dam Deformation monitoring – Case Study. In: *Proc. of FIG Working Week*, Sofia, Bulgaria, 25-29 May 2015.
7. *Antova, G.* Point clouds in BIM. In: *Journal IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES)*. Online ISSN: 1755-1315, 2016.
8. *Delaloy, D.* Development of a New Methodology For Measuring Deformation in Tunnels and Shafts with Terrestrial Laser Scanning (LIDAR) Using Elliptical Fitting Algorithm. Thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, 2012.
9. *Eling, D.* Terrestrisches Laserscanning für die Bauwerksüberwachung. Deutsche Geodatische Kommission, Reihe C, 641. Munich. 2009.
10. *Erdelyi, J., Kopacik, A., Liptak, I., Kyrinovic, P.* Automated point Cloud Processing to Increase the Accuracy of Deformation Monitoring. Proceeding of the 3rd JISDM, Mart 30-April 01, Vienna, Austria, 2016.
11. *Gonzalez-Aguilera, D., Gomes-LAhoz, J., Sanches, J.* A New Approach for Structural Monitoring of Large Dams with Three-Dimensional Laser Scanner. In: *Sensors*, 8(2008)9, 5866-5883, DOI: 10.3390/s8095866, 2008.
12. *Gordon, S. J., Lichti, D. D.* Modeling Terrestrial Laser Scanner Data for Precise Structural Deformation Measurement. In: *Journal of Surveying Engineering*, 133(2007)2, 72-80, 2007.
13. *Geist, M., Meister, M., Knaack, L., Gierschner, F.* Lokale Modellierung zur bestimmung von Flächenformabweichungen Wittels terrestrischer Laserscanner. In: *AVN*, 123(2016)3, 75-83.
14. *Gosliga van R., Lindenberg, R., Pfeifer, N.* Deformation Analysis of a bored tunnel by means of terrestrial laser scanning. Proceedings of the ASPRS Archives, Dresden, 2006.
15. *Holts, C., Kuhlmann, H.* Challenges and Present fields of Action at Laser Scanner Deformation Analyses. *Journal of Applied Geodesy*, 10(1): 17-25, 2016.
16. *Holst, C., Nothnagel, A., Blome, M., Becker, P., Eichborn, M., Kuhlmann, H.* Improved area-based deformation analysis of a radio telescope's main reflector based on terrestrial laser scanning. In: *Journal of Applied Geodesy*, 9(2014)1, 1-13, 2014.
17. *Holst, C.* Analyse der Konfiguration bei der Approximation ungleichmassig abgetasteter Oberflächen auf Basis von Nivelements und Terrestrischen Laserscans. Deutsche Geodatische Kommission, Reihe C, 760. Munich. 2015.
18. *Ioannidis, C., Valani, A., Georgopoulos, A., Tsiligiris, E.* 3D Model Generation for deformation Analysis Using laser Scanning Data of a cooling tower. Proceeding of the 3rd IAG/12th FIG Symposium, May 22-24, Baden, Austria, 2006.
19. *Kopacik, A., Erdelyi, J., Liptak, I., Kyrinovic, P.* Deformation Monitoring of Bridge Structures Using TLS. Proceeding of the 2nd JISDM, September 9-10, Nottingham, UK, 2013.
20. *Kuhlmann, H., Schwieger, V., Wieser, A., Nemeier, W.* Engineering Geodesy – Definition and Competencies. In: *Journal of Applied Geodesy*, 8(2014), 327-333, 2014.
21. *Neuner, H., Holst, C., Kuhlmann, H.* Overview on actual modelling strategies of point clouds for deformation monitoring. In: *AVN*, 123(2016)11-12, 328-339, 2016.
22. *Ohlmann-Bartusel, J.* Innovative determination of Areal deformation of an excavated tunnel intrados by multy-temporal laser scanning data- Potential of driving-attendant tunnel scanning for the NATM. Diploma Thesis. Chair of Geodesy, GIS and land Management, TU Munchen, 2008, (unpublished).

23. Pesci, A., Teza, G., Boschi, E. Laser scanning-based detection of morphological changes of a historical buildings occurred during a seismic sequence: Method and case study. In: International Journal of geomatics and Geosciences, 5(2015)3, 427-447, 2015.
24. Remondino, F. From point cloud to surface: the modelling and visualisation problem. In scanners. In: Proc. of FIG Working Week, Athens, Greece, 2004.
25. Sarti, P., Vittuari, L., Abbondanza, C. Laser scanner and terrestrial surveying applied to gravitational deformational monitoring of large VLBI telescope's primary reflector. In: journal of Surveying Engineering, 135(2009)4, 136-148, 2009.
26. Schneider, D. Terrestrial laser scanner for area based deformation analysis of towers and water dams. Proc. 3rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering and 12th FIG Symposium on Deformation Measurements, Baden, Austria, 22-24 May. 6 pp., on CDROM. 2006.
27. Walton, G., Delaloye, D., Diederichs, M. S. Development of an alliptical fitting algorithm to improve change detection capabilities with applications for deformation monitoring in circular tunnels and shafts. Tunneling and Underground Space Technology, 43(2014), 336-349. 2014.
28. Wujanz, D., Kruger, D., Neitzel, F. Identification of stable areas unreferenced laser scans for deformation measurement. In: The Photogrammetric Record, 31(2016)155, 261-280, 2016.
29. Wunderlich, T. H., Neimeier, W., Wujanz, D., Holst, C. H., Neitzel, F., Kuhlmann, H. Areal deformation analysis from TLS Point clouds – the challenge. In: AVN, 123(2016)11-12, 340-351, 2016.

CHALLENGES TO MODELLING POINT CLOUDS FOR DEFORMATION ANALYSIS

G. Antova¹

Keywords: point clouds modelling, terrestrial laser scanning, deformation analysis

ABSTRACT

The great advantage of the laser scanning is that it provides 3D information about the object. The paper discusses obtaining a surface model that best describes the object. In the general case, this is a tricky problem because the measured points are diffuse and with registered noises in their information. There are different methods for generating a surface: as a triangular irregular network (TIN), or generate parametric surfaces (polynomials of lower degree) or the famous surfaces (for planes, spheres, cylinders) by approximation with least squares adjustment and RANSAC. A comparative analysis of methods for modelling of point clouds concerning the deformation analysis is made. Special attention is paid to the areal deformations.

¹ Gergana Antova, Asist. Prof. Eng., Dept. "Geodesy and Geoinformatics", UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: antova_fgs@uacg.bg