

## Методика за бързо създаване на твърдотелни модели на реални обекти чрез 3D сканиране по метода на структурираната светлина

Стоян Славов, Нино Симеонов

**Methodology for rapidly creating solid models of real objects using 3D scanning method of structured light:** *The paper describes a methodology for rapidly obtaining of solid models based on 3D meshes scanned by 3D structured light scanner device. Advantages and disadvantages of different methods for 3D scanning have been discussed and a reasoned choice and description of method for scanning has been made. Based on sample real part, the sequence of work in transforming scanned polygonal mesh into solid model by using the CAD system Solidworks also was presented.*

**Key words:** 3D structured light scanning, polygonal mesh, solid model, SolidWorks.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Възстановяването на износени или повредени детайли не винаги е лесна задача, поради редица причини, като например: Оригиналната документация на продукта се е загубила или никога не е съществувала; Производителя на изделиято отдавна вече не произвежда този продукт или напълно е прекратил или е пренасочил дейността си; За съответните части няма CAD чертежи или модели или те не са актуални, загубени са, повредени и т.н. Това, съчетано с необходимостта от възможно най-кратък срок за престой на технологичното оборудване в неработещо състояние, често пъти води до необходимост от инвестиране в скъпоструващи резервни части, услуги за изработване на техни аналози или в закупуване на напълно ново оборудване от аналогичен тип, при условие че старото все още не е изчерпало напълно своя експлоатационен ресурс.

Независимо от напредъка на методите и поевтиняването на средствата за т.н. „Ревърс инженеринг“ (RE - Reverse engineering) напоследък, те все още намират ограничено приложение в практиката [4]. Основните причини за това са от една страна все още високата цена на 3D сканиращите устройства, а от друга дори и най-сложните алгоритми за автоматизирано разпознаване на сканираното изображение и трансформирането му в CAD модел, все още не дават достатъчно добри резултати при детайли с по-сложна форма. Поради това, в настоящата работа е предложен метод за RE, за бързо получаване на точен твърдотелен модел на реален обект, чрез използване на оптично 3D сканиращо устройство на достъпна цена и възможностите за моделиране на продукта Solidworks (Dassault Systemes).

### СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ И СРЕДСТВОТА ЗА ТРИМЕРНО СКАНИРАНЕ НА ОБЕКТИ

Първоначално за целите на RE са използвани координатните измервателни машини (СММ) работещи с контактни сензорни сонди. Този метод обаче може да е доста бавен, защото всяка точка се генерира от последователното преместване на сондата на СММ по „сканираната“ повърхнина, при това върху детайла се упражнява известен натиск. Така може да се повреди сканираната повърхност при по-меки материали, а при много меките (като например каучук), е възможно изобщо да не може да бъде сканирана формата точно. Освен това има вероятност сондата да не може да навлезе в тесни затворени пространства от топографията на детайла, което води до неточности в получавания модел.

Безконтактните сканиращи устройства могат да бъдат лазерни, оптични и/или матрични сензори с фотоклетки (CCD - charge-coupled device). Въпреки че тези устройства могат да предоставят голямо количество информация за кратко време, съществуват и редица проблеми, а именно: Типичното отклонение на безконтактното сканиране е в рамките на  $\pm 0,025$  до  $0,2$  mm; Някои безконтактни

системи имат проблеми с предоставяне на данни за повърхности, които са успоредни на оста на лазерния излъчвател; Лазерните 3D скенери използват лазерен източник(ци) и специализиран(и) приемник(ци) за събиране на информация за топографията на повърхнините на обекта, като това създава проблеми, когато повърхността на обектите е блестяща или прозрачна (налага се повърхнините да се боядисват или покриват с фин прах преди сканиране); Изискванията за висока точност и производителност на сканиране водят и до сравнително по-високата цена на която се предлагат тези устройства на пазара.

Макар и да не успяват да избегнат всички недостатъци на безконтактните методи за сканиране, в последно време широко разпространение намират 3D оптичните скенери, работещи по метода на т.н. „сканиране чрез структурирана светлина“ (SLS - Structured Light Scanning) [1]. В сравнение с другите безконтактни методи, получаваните резултати за електронния модел при метода SLS се характеризира с най-висока скорост на сканиране на обекта (едно сканиране е в рамките на 4-6 секунди) при равни размерни отклонения. Цената на сканиращото оборудване, работещо по този метод е по-ниска, в сравнение с лазерните устройства и СММ. Това се дължи на използването на стандартно произвеждани проектори и фотокамери при този вид 3D скенери.

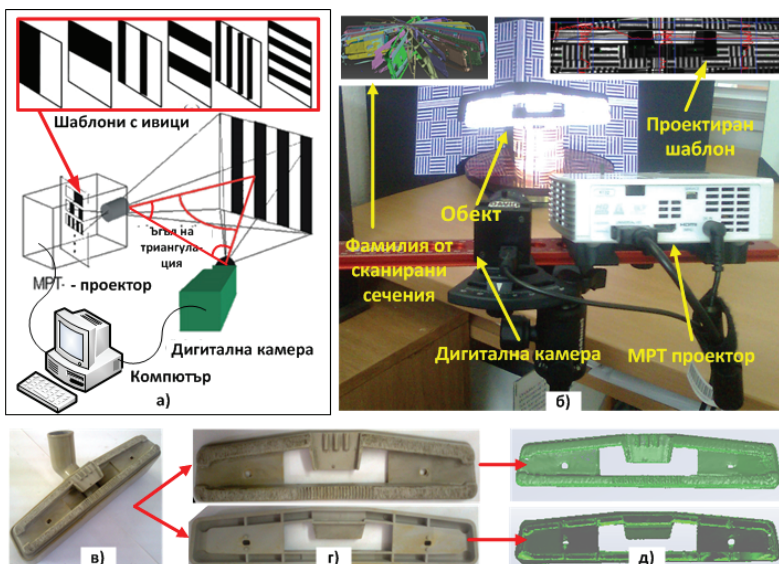
### **СЪЩНОСТ НА МЕТОДА „SLS“ ЗА СКАНИРАНЕ НА ОБЕКТИ ОСВЕТАВАНИ ОТ СТРУКТУРИРАНА СВЕТЛИНА**

SLS е метод за 3D сканиране, основаващ се на оптичната триангулация [1], при който вместо лазерен излъчвател се използва MPT (Miniature Projection Technique) проектор за „осветяване“ на обекта по специален начин (виж фиг. 1. а). Чрез MPT проектора, разположен фронтално срещу обекта се проектират по неговата повърхност серия от шаблони, съставени от успоредни вертикални и хоризонтални светли и тъмни ивици (т.н. patterns), генерирани от специализиран софтуер. Проектираните шаблони се деформират в зависимост от характеристиките на топографията на повърхнините на сканирания обект (виж фиг. 1. б). Фотокамера с висока резолюция, която е разположена на една линия с проектора, но отместена на известно разстояние от него и завъртяна на определен ъгъл спрямо осветявания обект, заснема съответните отразени изображения (най-малко едно изображение при всеки проектиран шаблон). На базата на заснетите от камерата деформирани от повърхността на обекта шаблони със светли и тъмни ивици, заложените в софтуера алгоритми изчисляват и създават прецизна полигонална мрежа (mesh) на повърхнината на обекта. За се получи цялостен тримерен модел обикновено са достатъчни от 6 до 15 сканирания при завъртане на обекта около дадена ос, без да се налага спазването на точни ъгли на въртене. При наличие на повърхнини, които са разположени успоредно на светлинните лъчи на проектора е необходимо обекта да се наклони на известен ъгъл нагоре и/или надолу, за да могат същите да бъдат „осветени“ от проектора и „уловени“ от камерата.

### **ПРИМЕР ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДА ЗА 3D СКАНИРАНЕ SLS**

Като пример за илюстрация на метода за тримерно сканиране, е използван детайл от прахосъбирателя на стар модел битова прахосмукачка Omega (виж фиг. 1, в), произвеждана в началото на 70-те години от Kombinat VEB Elektrogerätewerk Suhl, ГДР [2]. С годините на експлоатация, контактните повърхнини на детайла, показан на фиг. 1, г) са се надрали, а пластмасата, от която той е изработен е претърпяла стареене и в следствие на многократните удари в препятствия (мебели), на места са се появили пукнатини, което се отразява на способността на прахосмукачката да осигурява необходимия вакуум при почистване на гладки повърхнини. Останалите елементи на прахосмукачката са изправни и функционират нормално.

За целите на бързото получаване на полигонален модел на детайла се използва сканираща система, модел DAVID Structured Light Scanner SLS-2, произвеждан от DAVID Vision Systems GmbH, Германия [2], чийто основни елементи (MPT проектор и HD видео камера) са показани на фиг. 1 б). Следващи препоръките на производителя, при сканиране на обекти с размери от 150 до 200 mm, са направени следните настройки: Разстояние между камерата и проектора – 160 mm, Разстояние между обекта и проектора - 450 mm, ъгъл на завъртане на камерата - 20°. При тези габарити на сканирания обект и настройки на сканиращата система, след калибриране на системата очакваното отклонение на размерите на получения мрежов модел е до 0.2 mm (или до 0.1% от размерите на сканирания обект). Тъй като сканирания детайл е със сравнително сложна форма и е необходимо мрежовия модел изцяло да „затваря“ обем от пространството, са извършени серия от сканирания (общо 14 броя), като при всяко детайла периодично се завърта около вертикалната си ос на симетрия през ъгли от приблизително 25°, до завъртането му на пълен оборот от 360°. Тъй като някои от повърхнините на детайла са разположени успоредно на потока от светлинни лъчи, детайла се наклонява напред и/или назад на ъгъл до 10°, с цел тези повърхнини да бъдат „осветени“ от проектора. Получените изображения са показани горе в ляво на фиг. 1, б). Използвайки инструментите за изчистване на „шума“, получен от отражения от поставката на детайла, за подравняване и автоматизирано сглобяване на отделните сканирани изображения чрез софтуера DAVID 3, в резултат се получава тримерен мрежов модел на детайла. Изгледи „отпред“ и „отзад“ на модела са показани на фиг. 1, д).

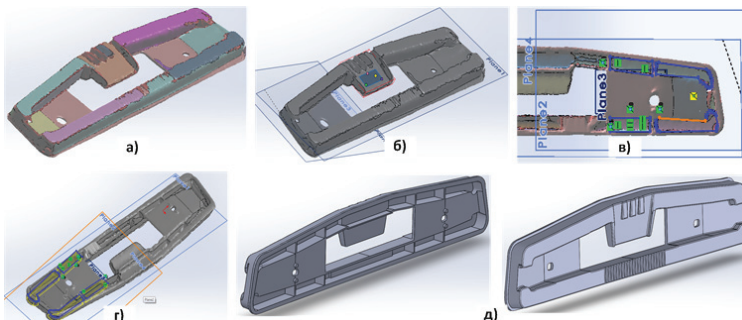


Фиг. 1 а) Принцип на 3D сканиране по метода SLS; б) 3D сканираща система SLS-2 на DAVID Vision Systems GmbH, Германия [2]; в) Праховсъбирател на стар модел прахосмукачка Omega; г) Износен детайл от праховсъбирателя; д) Полигонален модел на детайла след сканиране по метода SLS – изгледи „отпред“ и „отзад“.

## ТРАНСФОРМИРАНЕ НА ПОЛИГОНАЛНИЯ МРЕЖОВ (MESH) СКАНИРАН МОДЕЛ В ТЪВРДОТЕЛЕН (SOLID) CAD МОДЕЛ

Превръщането на мрежовият (полигоналният) модел в твърдотелен се извършва с помощта на подходяща CAD система, като например SolidWorks. Компонентът ScanTo3D интегриран в Solidworks съдържа набор от функции за предварителна подготовка на сканирания модел и за съответното му преобразуване в отделни криви или повърхнини. Предварителната подготовка включва: отстраняване на шумове; изтриване на излишна геометрия (напр. от подложката, върху която е поставен реалния модел при сканиране); редуциране на полигоналната мрежа; запълване на отвори и др. Фактическото преобразуване в повърхнинен модел може да стане в автоматичен режим или полуавтоматично чрез посочване на отделни зони, които на следващ етап програмата разпознава като повърхнинни построения. За модели със сравнително проста геометрична форма и най-вече при ротационни повърхнини разпознаването им в автоматичен режим дава добри резултати [4,5]. При призматични обекти и такива притежаващи отвори, джобове и/или ребра, (каквото е и примерния модел от фиг.1 в), автоматичното разпознаване в общия случай не води до добри резултати. Използването на комбинирани методи, а именно частично разпознаване на сложните повърхнини и следващи допълнителни обработки и построения в CAD програмата за окончателно получаване на модела на реалния обект дават по-добри резултати, но недостатък при тях се явява трудоемкостта и по-продължителното време за ръчна обработка на модела.

За обекти от вида на разглеждания в настоящата работа, получаването на CAD модела е по-ефективно да се извършва чрез геометрично моделиране, основано на сканирания полигонален модел. По същество предлагания тук метод представлява модификация на метода „създаване на скица от изображение със свободна ръка“, при който начертано (или сканирано) 2D изображение на обекта се използва като шаблон, а скицирането се извършва ръчно чрез инструментите за 2D геометрични построения на CAD системата. За да се получи твърдотелен модел при този метод е необходимо да се въведат няколко двумерни изображения на проекциите на обекта и по тях да се построят съответни скици, чрез които на следващ етап да се създаде тримерен модел на обекта. Основен недостатък е, че 2D изображенията на проекциите на обекта трябва да бъдат „синхронизирани“ точно в моделното пространство и мащабирано пропорционално една към друга, което при по-сложни модели се постига трудно. Тъй като сканирания 3D полигонален модел (след извършена предварителна подготовка) описва достатъчно точно геометрията на обекта във всички направления, идеята е той да се използва като шаблон за последващото тримерно моделиране. Така ще се избегне необходимостта от прецизно мащабиране и напасване на отделни 2D сечения и проекции в моделното пространство на CAD системата, което спестява време и усилия на проектанта.



Фиг. 2 а) Предварително обработен полигонален модел; б) Построяване на работни плановете; в) Дефиниране на 2D графични примитиви; г) Дефиниране на 3D примитиви (джобове); д) Построен твърдотелен модел на детайла в Solidworks.

Последователността на работа при предлагания метод е следната (виж фиг. 2):

1. Предварителен анализ на обекта за избор на подходящи изгледи за сканиране;
2. Получаване на необходим брой сканирани сечения и сглобяването им в единен модел от типа на полигонална мрежа – виж фиг. 1 д);
3. Предварителна обработка на полигоналния модел чрез инструмента ScanTo3D на SolidWorks, включващо: ориентиране, мащабиране, опростяване, заглаждане, разделяне на модела на области от полигони и т.н. – виж фиг. 2 а);
4. Построяване на подходящ брой допълнителни планове (Plane), на базата на характерни точки от повърхнините на полигоналния модел, ориентирани съгласно топографията му – виж фиг. 2 б);
5. Ръчно построяване на двумерни геометрични примитиви (чрез инструментите за линии, дъги, сплайн-криви), описващи характерните елементи от топографията на обекта във всеки план – виж фиг. 2 в);
6. Създаване на обемно (твърдо) тяло чрез средствата за тримерно моделиране на CAD системата, на базата на построените в предишната стъпка двумерни геометрични примитиви – виж фиг. 2 г).

Повтаряйки стъпки от 4 до 6 последователно за всички елементи на топографията на обекта, в резултат се получава завършения твърдотелен модел, чийто изгледи „отпред“ и „отзад“ са показани на фиг. 2 д). Той може да се използва както за техническо документиране, така и за производство на резервни части.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представения метод за получаване на 3D сканирани полигонални модели на сложни призматични обекти с помощта на скенер, работещ по метода на структурираната светлина и последващата им обработка до твърдотелни модели, чрез CAD системата SolidWorks, позволява да се постигнат геометрично и размерно точни модели за по-кратко време, отколкото при други аналогични методи. Той би бил полезен както при решаване на практически задачи (например при дипломно проектиране), така и при провеждане на практически учебни занятия в ТУ-Варна.

Настоящия доклад е изготвен във връзка с научен проект № НП-27/2014, в рамките на присъщата на ТУ-Варна научно-изследователска дейност, финансирана целево от държавния бюджет на Р. България.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Jason Geng, Structured-light 3D surface imaging: a tutorial, *Advances in Optics and Photonics*, Vol. 3, Issue 2, pp. 128-160 (2011);
- [2] Уебсайт на DAVID Vision Systems GmbH, производител на 3D сканиращи устройства - <http://www.david-3d.com/> ;
- [3] Kombinat VEB Elektrogerätewerk Suhl - [de.wikipedia.org/wiki/Kombinat\\_VEB\\_Elektroger%C3%A4tewerk\\_Suhl](http://de.wikipedia.org/wiki/Kombinat_VEB_Elektroger%C3%A4tewerk_Suhl);
- [4] Raja, Vinesh, Fernandes, Kiran J., “Reverse Engineering”, *An Industrial Perspective*, Series: Springer Series in Advanced Manufacturing, ISBN 978-1-84628-856-2, 2008;
- [5] Planchard Marie P., *SolidWorks 2012 Tutorial*, SDC Publications, 2012, ISBN 1585037028, pp. 632.

## За контакти:

**доц. д-р Стоян Димитров Славов**, Катедра “ТМММ”, ТУ - Варна, тел.: 052 383 690, e-mail: [sdslavov@tu-varna.bg](mailto:sdslavov@tu-varna.bg); **докторант инж. Нино Георгиев Симеонов**, Катедра “ТМММ”, ТУ - Варна, тел.: 052 383 477, e-mail: [nino84@abv.bg](mailto:nino84@abv.bg).

**Докладът е рецензиран.**