<https://hci.rwth-aachen.de/publications/engelmann2011a.pdf> - Бакалавърска теза към проекта

Тази теза представя хардуерна и софтуерна система за дигитализиране формата и цвета на физически обекти в предварително известна заобикаляща среда.

3D скенер е устройство, което създава дигитален модел на реални обекти чрез анализиране на неговата форма и цвят. Области на приложенията включват компютърната графика, роботиката, индустриалния дизайн, медицинската диагностика, културното наследство, мултимедия, забавление както и бързо прототипиране и компютризиран контрол на качеството.

Има различни подходи за извършване на 3D сканиране, включително структурирана светлина, кодирана светлина(coded light), ToF и др. Избраният подход за просто и прецизно сканиране е базиран лазерна триангулация, което се състой от изчисляване на пресечната точка на светещия лазерен лъч и лъчът проектиран обратно към камерата.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/047134608X.W8298> - Статия от 2016 за Техники и приложения за 3D сканирането със структурирана светлина

От <http://mesh.brown.edu/byo3d/source.html> byo3D.pdf (“Build Your Own 3D Scanner: 3D Photography for Beginners” - 2009)

A simple binary structured light sequence was first proposed by Posdamer and Altschuler [PA82] in 1981.

Gray codes were first proposed as one alternative to the simple binary encoding by Inokuchi et al. [ISM84] in 1984.

[**https://all3dp.com/1/scan-dimension-sol-3d-scanner-review-specs/**](https://all3dp.com/1/scan-dimension-sol-3d-scanner-review-specs/) - Пример за скенер с два подхода за сканиране.

Освен това 3D скенера SoI има два различни режима на сканиране, като и двата използват структурирана светлина за улавяне текстурата(цвета) и лазерна технология за събиране на геометрията.

<https://all3dp.com/1/best-3d-scanner-diy-handheld-app-software/#section-3d-scanner-technologies> - Най-добрите скенери. Описание на техниките за сканиране, приложения на различните класове скенери и добри идеи за реализация.

Професионални 3D скенери

За сканирането на обекти не само цифровото изображения, но за да се получат точни измервания и размери, е необходим професионален скенер. Използват се от музей за дигитализиране на техните колекции, медицински специалисти за създаване на персонални ортопедии и професионалисти в областта на игрите и визуалните ефекти.

Индустриални скенери

За индустриални приложения в областта на обратното инженерство(reverse engineering), прототипиране и VR за контрол на качеството, цифрово архивиране, инспектиране и поддръжка. Използват се в редица отрасли, включително отбрана, производство, космическа, автомобилна и потребителска продукция.

\* И двата подхода, фотограметрия и сканира със структурирана светлина, имат сериозни проблеми с отразяващи и прозрачни повърхности, които не могат да бъдат обработени и ще доведе до изкривявания и фрагментирани мрежи.

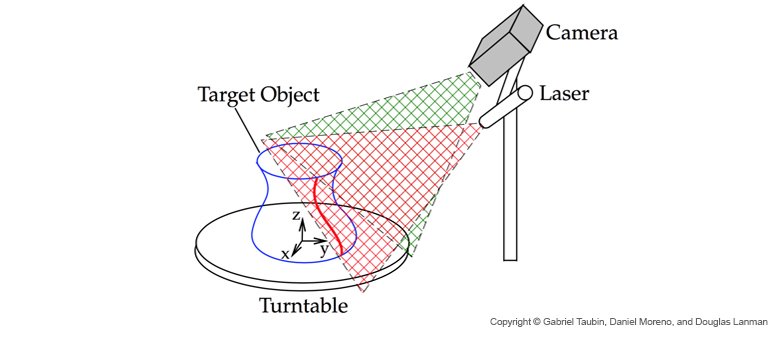
**Shining EinScan H & HX**

\* хибридни източници на светлина - инфрачервен източник и доказан собствен Shining’s LED източник. За приложения в областта на изкуство, съдебна медицина и медицината.

\* по-бърз и малко по-точен спрямо *горния.* Използва син лазер и LED източник на светлина. Тази комбинация прави скенера по-малко чувствителен на светлина и дава най-добра производителност при сканиране на отразяващи и черни повърхности. С вградената цветна камера, той поддържа заснемане на пълноцветна текстура.

**Технологии за 3D сканиране**

\* Лазерна триангулация

Лазерният скенер прожектира милиони точки или линии върху обекта и засича техните отражения със сензор. Тъй като сензорите са поставени предварително известно разстояние от източника на лазера, точните точкови измервания се събират чрез изчисляване на ъгъла на отражението на лазерната светлина. Със знанието за разстоянието от скенера до обекта, сканиращия хардуер може да картографира повърхността на обекта и да запише 3D сканиране. Тези скенера са изключително точни, разделителната способност е в диапазона десети от микрометри. От друга страна, техния обхват е ограничен до няколко метра. Скенерите, използващи лазерна триангулация, излъчващи лазерна светлина, могат да заснемат движещи се обекти. Тази технология обикновено не се среща при преносимите 3D скенери.

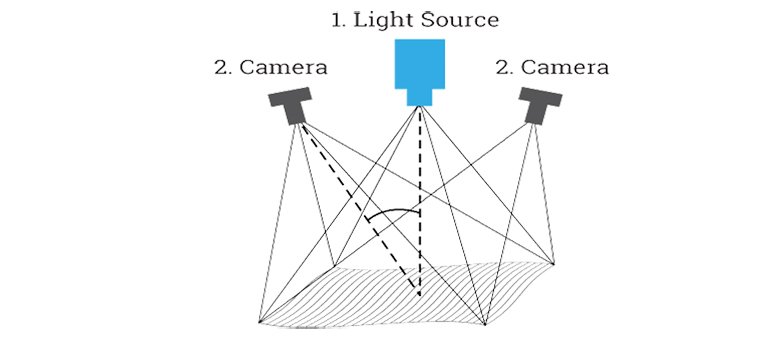
Обаче трябва да се има предвид, че свойствата на сканирана повърхност влияят на процеса на сканиране. Следователно много лъскави или прозрачни повърхности може да бъдат доста проблематични за тази технология.

За сканиране на хора и животни, не може да се използва лазерен 3D скенер, тъй като това може на причини увреждане на очите. Структурираната светлина би била по-добър избор, но тази технология изисква обектът да остане перфектно неподвижен. Така, че докато могат да се получат страхотни сканирания на нашите приятели и семейства, то сканирането на куче би била трудна тема.

\* Структурирана светлина

Технологията за структурирана светлина също използва триангулация, но работи като прожектира шаблон от светлина върху сканирания обект, а не лазерна линия(или точка).

Тъй като шаблоните могат само от 1 гледна точка в даден момент, трябва да се комбинират множество 3D сканирания, за да образува пълна 360°мрежа. Някой производители заобикалят това ограничение като монтират обекта на моторизирана въртяща плоскост и автоматично свързват 3D сканирането.



Тези 3D скенери са много точни, разделителната способност е в диапазона десети от микрометри. За разлика от лазерното 3D сканиране, тази технология е безопасна за прилагане върху хора и животни. Обхватът на сканиране е ограничен до няколко метра. Среща се какво в стационарните скенери, така и в преносимите.

Повечето потребителски 3D скенери(структурирана светлина) са предназначени за сканиране на обекти с големина средно на чайник от близко разстояние. Вярно е, че често може да се съберат множество сканирания в едно цяло. Най-общо казано, колко по-голям е обекта или колко по-далеч, толкова по-скъп ще бъде 3D лазерния скенер.

|  |  |
| --- | --- |
| Лазерна триангулация | Структурирана светлина |
| Точен | Точен |
| Използва се и за движещи се обекти | Бързо сканиране |
| Стационарни | Стационарни и подвижни |
| Увреждат очите | Безопасни за хора и животни |
| Ограничен обхват до няколко метра | Ограничен обхват до няколко метра |
| По-малко точен с блестящи или ясни обекти | По-малко точен с блестящи или ясни обекти |
| Подходящ за всякакви светлини условия | Трудности при външна светлина |

<https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanning>

3D сканирането е процес на анализиране на реален обект или среда за събиране на данни за неговата форма и евентуално неговия външен вид(цвят). След това събраната информация може да се използва за конструиране на дигитален 3D модел.

3D скенера може да бъде базиран на много различни технологии, всяка от които има своите ограничения, предимства и цена. Например оптичната технология може да срещне много трудности с лъскави, отразяващи или прозрачни предмети. Например индустриалното компютърно томографско сканиране и 3D сканиране със структурирана светлина могат да се използват за конструиране на цифрови 3D модели без разрушителни тестове[[1](https://en.wikipedia.org/wiki/Nondestructive_testing)].

Събраните 3D са полезни в голямо разнообразие от приложения. Тези устройства се използват широко от развлекателна индустрия при производството на филми и видео игри, включително виртуална реалност. Други често срещани приложения на тази технология включва разширена реалност, улавяне на движение, разпознаване на жестове, роботизирано картографиране, индустриален дизайн, ортопедия и протезиране, обратно инженерство[[2](https://en.wikipedia.org/wiki/Reverse_engineering)] и прототипиране[[3](https://en.wikipedia.org/wiki/Prototype)], контрол на качеството/инспектиране и дигитализиране на културни артефакти.

1. **Функционалност**

Целта на 3D сканирането обикновено е 3D модел. 3D моделът се състой от облак от точки([point cloud](https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud)) или геометрични проби от повърхността на обекта. Тези точки след това могат да се използват за извличане на формата на обекта(процес наречен [reconstruction](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_reconstruction)). Ако се събира информация за цвета на всяка точка, тогава цветовете на повърхността също могат да се определят.

3D скенерите споделят няколко черти с камерите. Като повечето камери, те имат конусовидно зрително поле и подобно на камерите, могат да събират информация само за повърхности, които не за закрити. Докато камера събира информация за цвете на повърхността чрез нейното зрително поле, 3D скенера събира информация за разстоянието чрез неговото зрително поле. Това позволява триизмерната позиция на всяка точка в изображението да бъде определена.

За повече ситуации, единично сканиране няма да предостави пълен модел на обекта. Обикновено са необходими множество сканирания, дори стотици, от много различни посоки за извличане на информацията за всички страни на обекта. Тези сканирания трябва да се включат в обща референтна(координатна) система, процес, който се нарича подравняване(*alignment*) или регистриране[[4](https://en.wikipedia.org/wiki/Image_registration)] и след това да се обединят, за да се получи пълен 3D модел. Целият този процес, преминаващ от карта с един обхват до цял модел, обикновено е известен като 3D scanning pipeline.

1. **Технологии**

Съществуват разнообразни технологии за цифрово събиране на формата на 3D обект. Техниките работят с повечето или с всички типове сензори включително оптични, акустични, лазерни скенери, радари, топлинни и сеизмични. Добре установена класификация ги разделя на два типа: контактни и неконтактни. Неконтактните решения могат допълнително да се разделят на два основни типа, активни и пасивни. Съществуват разнообразни технологии, които спадат към всяка от тези категории.

**Контактни**

Контактните 3D скенери изследват обекта чрез физическо докосване, докато обектът е в контакт или почива на прецизна плоска на повърхността плоча, шлифована и полирана до определен максимум грапавост на повърхността. Когато обектът, който трябва да се сканира, не е плосък или не може да стой стабилно на права повърхност, той се поддържа и се държи здрави на място от фиксатор.

Механизмът на скенера може да има 3 различни форми:

* Каретна система с твърди рамена, държани плътно в перпендикулярната връзка и всяка ос се плъзга по коловоз.
* Съставно рано с твърди кости и много прецизни ъглови сензори. Локализирането на края на ръката изисква сложни математически изчисления, изчисляващи ъгъла на завъртане на китката и ъгъла на шарнира на всяка става. Това е идеално за сондиране пукнатини и вътрешни пространства с малък отвор на устата.
* Комбинация от двата метода може да се използва като съставно рамо окачено на каретна система, за картографиране на големи обекти с вътрешни кухини или припокриващи се повърхности.

**CMM**([coordinate measuring machine](https://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate_measuring_machine)) е пример за контактен 3D скенер.Той се използва най-много в производството и може да бъде много точен. Обаче недостатък на CMM е, че изисква контакт с обекта, който е сканиран. Този факт е много важен при сканиране на деликатни или ценни предмети като исторически артефакти. Друг недостатък на CMM е, че те относително бавни в сравнение с другите методи за сканиране. Физическото движение на рамото, на което е монтирана сондата, може да бъде много бавно и най-бързите CMM работят само на няколко стотин херца. За разлика от тях, оптичните системи с лазерно сканиране могат да оперира от 10 до 500kHz.

Друг пример са ръчно управляваните сонди за сканиране, използвани за дигитализиране на глинени модели в индустрията на компютърната анимация.

**Неконтактни активни**

Активните скенери излъчват някакъв вид радиация или светлина и засичат нейното отразяване или радиационно излъчване, преминаващо през обекта, за да изследват обект или среда.

**Time-of-flight**

ToF 3D лазерен скенери е активен скенер, който използва лазерна светлина за сондиране на обекта. В основата на този тип скенери е лазерния далекомер за време на полет[[5](https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_rangefinder)]. Лазерният далекомер намира разстоянието до повърхността, като измерва времето на обратното пътуване на импулс светлина. Докато скоростта на светлината **c** е известна, времето за двупосочното пътуване определя разстоянието изминато от светлината, което е два пъти разстоянието между скенера и повърхността. Ако **t** е времето на полет в двете посоки, разстоянието е **c\*t/2**. Точността на 3D лазерния скенер ToF зависи от колко може да се измери времето **t**: 3.3 пикосекунди приблизително е времето, за което светлината изминава един милиметър.

Лазерният далекомер открива само една точка в нейната посока на гледане. По този начин скенера сканира цялото си зрително поле една по една точка, като променя посоката на видимост на далекомера, за да сканира различни точки. Посоката на видимост на далекомера може да се променя чрез завъртане на самия далекомер или чрез система от въртящи огледала. Последният метод се използва обикновено, защото системата от огледала много по-лека и по този начин да се върти много по-бързо и с по-голяма точност. Типичните 3D ToF скенери могат да измерят разстоянието до 10 000~100 000 точки всяка секунда.

ToF устройствата също да достъпни в 2D конфигурация. Това се нарича ToF камера[[6](https://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight_camera)].

**Триангулация**

Базираните на триангулация 3D лазерни скенери също са активни скенери, които използват лазерна светлина за сондиране на средата. По отношение на 3D лазерния скенер, скенера на база триангулация осветява лазер върху обекта и използва камера, за да търси местоположението на точката. В зависимост колко далече лазера удря повърхността, лазерната точка се появява на различни места в зрителното поле на камерата. Тази техника се нарича триангулация, защото точката, камерата и лазера образува триъгълник. Дължината на една страна на триъгълника, разстоянието между камерата и лазерния излъчвател са известни. Ъгълът при лазера също е известен. Ъгълът при камерата може да се определи като се погледне местоположението на точката в зрителното поле на камера. Тези три парчета информация напълно определят формата и размера на триъгълни и дават местоположението ъгъла при точка. В повечето случай по обекта се премества лазерна ивица, вместо точка, за да ускори процеса.

**Силни и слаби страни**

ToF и триангулацията имат своите силни и слаби страни, които ги правят подходящи за различни ситуации. Предимство на ToF е, че те могат да работят на големи разстояния от порядъка на километри. По този начин тези скенери са сканиране за големи структури като сгради и географски характеристики. Недостатък на ToF е тяхната точност. Поради високата скорост на светлината, времето за двупосочно пътуване е трудно и точността на измереното разстояние е относително ниска в порядъка на милиметри.

Далекомерите на база триангулация са точно обратното. Те са ограничени като обхват до няколко метра, но тяхната точно е относително висока. Тя от порядъка на десети от микрометъра.

Точността на ToF скенерите може да бъде загубена когато попадне на ръб на обект, защото информацията, която се връща обратно към скенера е от две различни местоположения за един лазерен импулс. Координатата спрямо позицията на скенера за точка, която попада на ръб, ще бъде изчислена на база средно аритметично и ще бъде локализирана на грешно място. При сканиране с висока резолюция на обект, шансовете на попадне на ръб се увеличава и получените данни ще показват шум точно зад ръбовете на обекта. Скенери с по-малка дължина на вълната ще помогнат за решаването на този проблем, но ще бъдат ограничени от обхват, тъй като дължината на вълната ще се увеличава с разстоянието. Софтуер също може да помогне, като определи, че първият обект ударен от лъча трябва д отмени втория.

При скорост от 10 000 проби в секунда, сканиране с ниска резолюция може да отнеме по-малко от секунда, но сканирането на висока резолюция изисква милиони проби и може да отнеме минути за никои ToF скенери. Проблем, които се създава е размазване от движение. Докато всяка от е сондирана по различно време, всяко движение на обекта или скенера ще изкриви събраните данни. По този начин обикновено е необходимо обектът и скенера да се монтират на стабили платформи и да се намалят вибрациите. Използването на тези скенери за сканиране на движещи се обекти е много трудно.

Напоследък има много изследвания за компресиране на изкривяванията от малко количество вибрации и изкривявания, които се дължат на движение и/или въртене.

Лазерните скенери за къси разстояния обикновено не могат да обхванат дълбочина на рязкост повече от 1 метър. При сканирането в една позиция за какъвто и да е период от време може да настъпи леко движение в позицията на скенера поради промени в температурата. Ако скенер е поставен на статив и има силна слънчева светлина от едната страна, тогава тази страна ще се разшири и бавно ще изкриви данните от сканирането от едната страна към другата. Някой лазерни скенери имат вградени компенсатори за ниво, за да противодействат на всяко движение на скерена по време на процеса на сканиране.

**Колоноскопска холография**

В колоноскопска система, лазерния лъч е коектиран на повърхността и след това непосредственото изображение по същия лъчев път се поставя през колоноскопски кристал и проектиране на CCD. Резултат е дифракционен модел, който може да бъде анализиран честото, за да се определи разстоянието до измерената повърхност. Основното предимство на коноскопската холография е, че за измерване е необходима само един лъчева пътека, като по този начин се дава възможност за измерване на дълбочина на фино пробит отвор.

**Ръчни лазерни скенери**

Ръчните лазерни скенери създават 3D изображение чрез триангулационния механизъм, описан по-горе: лазерна точка или линия се проектива върху обекта от ръчно устройство и сензор(обикновено устройство свързано със заряд или устройство чувствително на позиция) измерва разстоянието на повърхността. Данните се събират във връзка с вътрешната координатна система и следователно за събиране на данни, когато скенера е в движение, трябва да се определи позицията на скенера. Позицията може да се определи като се използват референтни характеристики на сканираната повърхност(обикновено лепящи отразяващи пластини, но естествените характеристики също са използвани в изследователската работа) или чрез използване на външен метод за проследяване. Външното проследяване често е под формата на лазерен тракер(за осигуряване на позицията на скенера) или фотограметрично решение, използващо 3 или повече камери, осигуряващи пълните 6 степени на свобода на скенера. И двете техники обикновено използват инфрачервени светодиоди, прикачени към скенера, които се виждат от камерата(ите) чрез филтри, осигуряващи устойчивост на околната среда.

Данните се събират от компютър и се запазват като точки от данни в триизмерно пространство, като при обработката това може да се преобразува в триъгълна мрежа и след това компютърно подпомогнат модел за проектиране, често като неравномерни рационални B-spline повърхност. Ръчните скенери могат да комбинират тези данни с пасивни сензори с видима светлина, които улавят повърхностни текстури и цветове - за изграждане(или “обратно инженерство”) на пълен 3D модел.

**Структурирана светлина**

Скенерите със структирана светлина проектират светлинен шаблон върху обекта и разглеждат деформацията на шаблона върху обекта. Шаблонът се проектира върху обекта като се използва LCD проектор или друг стабилен източник на светлина. Камера, леко изместена от шаблона на обекта, гледа формата на шаблона и изчислява разстоянието до всяка точка в зрителното поле.

Сканирането със структурирана светлина все още е много активна област на изследване, като всяка година се публикуват много научни статии. Доказано е, че перфектните карти са полезни и като структурни светлинни модели, които решават проблеми с кореспонденцията и позволяват откриване и коригиране на грешки.Виж [Morano, R., et al. "Structured Light Using Pseudorandom Codes,"](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=667888&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel4%2F34%2F14695%2F00667888.pdf%3Farnumber%3D667888) *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*.

Предимство на структурирана светлина е скоростта и прецизността. Вместо да се сканира една точка в даден момент, скенера сканира множество точки или цялото зрително поле наведнъж. Сканирането на цялото зрително поле за част от секундата намалява или елиминира проблема с размазване от движение. Някой съществуващи системи могат да сканират движещи се обекти в реално време. VisionMaster създава система за 3D сканиране с 5-мегапикселова камера - 5 милиона точки се получават във всеки кадър.

Разработен е скенер в реално време, използващ дигитална прожекция на ресни и техника на фазово преместване(някои видове структурирани светлинни методи) за улавяне, реконструкция и рендериране данни с висока плътност на динамично деформируеми обекти(като изражение на лице) при 40 кадъра в секунда.

**Модулирана светлина**

3D скенерите с модулирана светлина осветяват с непрекънато променяща се светлина върху обекта. Обикновено светлинният източник просто циклира амплитудата си синусоидален модел. Камера засича отразената светлина и количеството, на което се измества модела, определя разстоянието, което светлината е изминала. Модулираната светлина също позволява на скенера да светлина на източници, различни от лазер, така че няма смущения.

**Обемни техники**

**Медицински**

Компютърната томографи е медицински образен модел, които генерира триизмерно изображение на вътрешността на обекта от голяма поредица двуизмерни рентгенови изображения, подобно на магнитно-резонансното изображение е друга медицинска образна техника, която осигурява много по-голям контраст между различните меки тъкани на тялото отколкото компютърната томография прави, което го прави особено полезен при неврологични(мозъчни), мускулно-скелетни, сърдечно-съдови и онкологични(ракови) изображения. Тази техника създава дискретно 3D обемно изображение, което може директно да се визуализира, манипулира или трансформира в традиционна 3D повърхност посредством алгоритми за изчисляване на изо повърхност.

**Индустриален**

Въпреки, че най-често срещани в медицината, индустриалната компютърна томография, микротомографията и ЯРМ се използват и в други области за придобиване на цифрово представяне на обект и неговата външност, като изпитване на неразрушаващи материали, обратно инженерство или изучаване на биология и палеонтологични образци.

**Неконтактни пасивни**

Решенията за пасивно 3D изобразяване сами по себе си не излъчват никакъв вид радиация, а за сметка на това разчитат на отразена от околната среда радиация. Повечето решения от този тип засичат видимата светлина, тъй като това лесно достъпна околна радиация. Други видове лъчение, като инфрачервената, също могат да се използват. Пасивните методи могат да са доста евтини, защото в повечето случай практически те не се нуждаят от хардуер, а от проста дигитална камера.

* *Стереоскопичните* системи обикноено използват две видеокамери, леко разделени, гледащи една и съща сцена. Чрез анализ на малките разлики между изображенията, виждани от всяка камера, е възможно да се определи разстоянието до всяка точка в изображението. Този метод е базиран на същия принцип, движещ човешкото стереоскопично зрение.
* *Фотометричните* системи обикновено използват една камера, но правят множество изображения. ТОзи метод се базира на същия принцип като стереоскопичното зрение.
* Техниките на силуета използват очертанията, създадени от поредица снимки около триизмерен обект на добре контрастиран фон. Тези силуети се екструдират и пресичат, за да формират визуално приближение на корпуса на обекта. При тези подходи, някой вдлъбнатини на обекта (като вътрешността на купа) не могат да се засекат.

**Фотограметрични неконтактни пасивни методи**

Фотограметрията представя надеждна информация за 3D форми на физически обекти въз основа на анализ на фотографски изображения. Получените 3D резултати обикновено се представят като 3D облак от точки, 3D мрежа или 3D точки. Съвременните софтуерни приложения за фотограметрия автоматично анализират голям брой снимки за 3D реконструкция, но може да се наложи ръчно взаимодействие, ако софтуерът не може автоматично да реши позицията, от която е направена снимката, което е съществена стъпка в реконструкцията. Различни софтуерни пакети са налични включително [PhotoModeler](https://en.wikipedia.org/wiki/PhotoModeler), [Geodetic Systems](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Geodetic_Systems&action=edit&redlink=1), [Autodesk ReCap](https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_ReCap) и [RealityCapture](https://en.wikipedia.org/wiki/RealityCapture) ([comparison of photogrammetry software](https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_photogrammetry_software)).

* *Фотограметрията от близко разстояние* обикновено използва преносима камера като [DSLR](https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_single-lens_reflex_camera) с фиксирано фокусно разстояние, за да заснема обекти за 3D реконструкция. Сцените включват малки обекти като фасада на сграда, превозни средства, скулптури, скали и обувки.
* *Масивите на камера* могат да се използват за генериране на 3D облаци от точки или мрежи от живи обекти като хора или животни чрез синхронизиране на множество камери от различни гледни точки в един и същи момент за 3D реконструкция на обект.
* Широкоъгълна фотограметрия може да се използва за заснемане на интериор на сгради или затворени пространства като се използват широкоъгълна камера с обектив като [360 camera](https://en.wikipedia.org/wiki/Omnidirectional_camera).
* Въздушната фотограметрия използва въздушни изображения, получени от спътник, търговски спътник или безпилотен самолет за събиране на изображения на сгради, конструкции и терен за 3D реконструкция в облак от точки или мрежа.

**Придобиване на придобити данни от сензора**

Възможност е полуавтоматичното извличане сграда от лидар данни и изображения с висока разделителна способност. Отново този подход позволява моделиране без физическо към местоположението или обекта. От данни във въздуха на лидар може да се генерира цифров повърхностен модел(DSM) и след това обектите по-високи от земята се откриват автоматично от DSM. Въз основа на общите познания за сградите, геометричните характеристики като размер, височина и информация за формата се използват след това за отделяне на сградите от други обекти. След това извлечените контури на сградата се опростяват с помощта на ортогонален алгоритъм, за да се получи по-добро картографско качество. Анализ на водосбора(Watershed analysis) може да се извърши за извличане на билните линии на покривите на сградите. Линиите на билото, както и информацията за наклона, се използват за класифициране на сградите по тип. След това сградите се реконструират с помощта на 3 параметрични модела на сгради(плоски, двускатни, тапицирани)

**Придобиване от сензори на място**

Лидар и други наземни технологии за лазерно сканиране най-бързия, автоматичен начин за събиране на информация за височина и разстояние. Лидарите или лазери за измерване на височина на сгради стават много обещаващи. Търговските приложения както на въздушния лидар, така и на наземната технология за лазерно сканиране се оказаха бързи и точни методи за извличане височина на сгради. Задачата за извличане е с цел намиране местоположението на сградата, котата на земята, ориентациите, размера на сградата, височината на покрива и т.н. Повечето сгради са описани с достатъчно подробности по отношение на общите полиедри, т.е. техните граници могат представени от набор равнинни повърхности и прави линии. Допълнителната обработка, като изразяване на отпечатъци на сгради като полигони, се използва за съхранение на данни в ГИС бази данни.

Използвайки лазерни сканирания и изображения, направени от нивото на земята и перспектива от птичи птичи поглед, Fruh и Zakhor представят подход за автоматично създаване на текстурни 3D градтски модели. Този подход включва регистриране и обединяване на подробните фасадни модели с допълнителен въздушен модел. Процесът на въздушно генериране модел с разделителна способност половин метър с изглед от птичи поглед върху цялата област, съдържащ профил на терена и върхове на сгради. Използвайки DSM, получен от въздушни лазерни сканирания, те локализират превозно средство за регистриране и регистрират земните фасади във въздушния модел посредством локализацията на Монте Карло (MCL). Най-накрая двата модела се обединяват с различни резолюции, за да се получи 3D модел.

Използвайки въздушен лазерен висотомер, Haala, Brenner и Anders комбинират данните за височината със съществуващите земни планове на сградите. Основните планове на сградите вече са получени и в аналогова форма чрез карти и планове или цифрово в 2D ГИС. Проектът е направен с цел да се даде възможност за автоматично събиране на данни чрез интегрирането на тези различни видове информация. След това виртуалната реалност на градските модели се генерират в проекта чрез обработка на текстури, например чрез картографиране на земни изображения. Проектът демонстрира възможността за бързо придобиване на 3D градтски ГИС. Доказаните земни планове са друг важен източник за 3D реконструкцията на сгради. Сравенено в резултатите на автоматичните процедура, тези земни планове се оказват по-надеждни, тъй като съдържат обобщена информация, която е изрично изразена чрез човешка интерпретация. Поради тази причина земните планове могат значително на намалят разходите за реконструкция в проекта. Пример за съществуващи земни данни, използваеми при реконструкция на сгради, е Дигиталната кадастрална карта, която предоставя данни за разпределението на собствеността, включително границите на всички земеделски площи и земни планове на сградите. Допълнителна информация като имена на улици и използването на сгради(напр. гараж, жилищна сграда,офис блок, индустриална сграда, църква) е предоставена под форма на текстови символи. В момента Дигиталната кадастрална карта е изградена като база данни, обхващаща дадена област, съставена главно от дигитализиране на съществуващи карти и планове.

**Цена**

* Наземните устройства за лазерно сканиране(импулсни и фазови устройства)+софтуер на обработка обикновено започват от €150,000. Някой по-малко прецизни устройства(като Trimble VX) е с цена около €75,000.
* Наземните лидарни системи струват около €300,000.
* Възможни са и системи, използващи стандартни неподвижни камери, монтирани на RC хеликоптер(Фотограметрия) и струват около €25,000. Системите, които използват камери като балони, са дори по-евтини(около €2,500), но също изискват допълнително ръчно обработване. Тъй като ръчната обработка отнема около един месец работа за всеки ден на снимане, това си остава скъпо решение в дългосрочен план.
* Получаването на сателитни снимки също е скъпо начинание. Стерео изображения с висока разделителна способност(0.5 м резолюция) струва около €11,000. Сателитни изображения включват Quikbird, Ikonos. Моноскопичните изображения с висока резолюция струват около €5,500. Изображенията с по-ниска разделителна способност(напр. сателит CORONA с резолюция 2м) струват около €1,000 за 2 изображения. Трябва да се има предвид, че изображенията на Google Earth са с твърде ниска разделителна способност, за да се получи точен 3D модел.

1. **Реконструкция**

**От облак от точки**

Облаците от точки произведени от 3D скенери и 3D изображения, могат да бъдат директно измерени и визуализирани в света на архитектурата и строителството.

**От модели**

Обаче повечето приложения използват пилогониални 3D модели, повърхностни модели NURBS или CAD модели(известни също като солидни модели).

* *Модели на полигонна мрежа*: В полигоните представяне на формата, извитата повърхност се моделира толкова много малки фасетирани плоски повърхности(може да си представим сфера моделирана като диско топка). Полигонните модели-наричани още Мрежести модели, са полезни за визуализацията на някой CAM(т.е машинната обработка), но обикновено са тежки(т.е. много големи масиви от данни) и не могат да се редактират в тази форма. Реконструкцията на полигонен модел включва намиране и свързване на съседни точки с прави линии, за да се създаде непрекъсната повърхност. Много приложения, свободни и платени, са достъпни за тази цел(напр. [GigaMesh](https://en.wikipedia.org/wiki/GigaMesh_Software_Framework), [MeshLab](https://en.wikipedia.org/wiki/MeshLab), PointCab, kubit PointCloud for AutoCAD, [Reconstructor](https://gexcel.it/it/software/reconstructor), imagemodel, PolyWorks, Rapidform, [Geomagic](https://en.wikipedia.org/wiki/Geomagic), Imageware, [Rhino 3D](https://en.wikipedia.org/wiki/Rhino_3D) и др.)
* *Повърхностни модели*: Следващото ниво в моделирането включва използването на постеля от *извити* повърхностни петна за моделиране на формата. Това може да са NURBS, TSplines или други изкривени изображения на извита топология. Използвайки NURBS, сферичната форма се превръща в истинска математическа сфера. Някой приложения предлагат пачове за ръчно оформление, но най-добрите в класа предлагат пач както автоматично така и за ръчно оформление. Тези пачове имат предимството да бъдат по-леки и по-манипулируеми, когато се експортират в CAD. Повърхностните модели могат да се редактират до известна степен, но само в скулптурен смисъл на натискане и дърпане, за да се деформира повърхността. Това представяне е подходящо за моделиране на органични и артистични форми. Доставчиците на повърхностни модели включват Rapidform, [Geomagic](https://en.wikipedia.org/wiki/Geomagic), [Rhino 3D](https://en.wikipedia.org/wiki/Rhino_3D), Maya, T Splines и др.
* Твърди CAD модели: От инженерна/производствена гледна точка, крайното представяне на дигитална форма е редактируемия, параметричен CAD модел. В CAD се описва с параметрични характеристики, които лесно се редактират чрез промяна на стойност(напр. централна точка и център).

Тези CAD модели описват не просто обвивката или формата на обекта, но CAD модела също олицетворяват “дизайнерското намерение”(т.е. критични характеристики и тяхната връзка с други характеристики). Пример за дизайнерски намерения, които не се виждат само във формата, могат да бъдат болтовете на спирачния барабан, които трябва да са концентрични с отвора в центъра на барабана. Тези знания ще задвижат последователността и метода на създаване на CAD модел; дизайнер със знание за тази връзка не би проектирал болтовете на ушите посочени във външния параметър, а вместо това към центъра. Моделист създава CAD модел, ще иска да включи както Форма така и дизайнерски намерения в пълния CAD модел.

Доставчиците предлагат различни подходи за достигането до параметрите на CAD модел. Някои изнасят NURBS повърхностите и оставят на CAD дизайнера да завърши модела в CAD(напр. [Geomagic](https://en.wikipedia.org/wiki/Geomagic), Imageware, [Rhino 3D](https://en.wikipedia.org/wiki/Rhino_3D)). Други използват данните от сканирането за създаване на редактируем и подлежащ на проверка модел, който се импортира в CAD с цялостно дърво на функциите непокътнато, давайки пълен, естествен CAD модел, улавящ както формата, така и намерението за дизайн(напр. [Geomagic](https://en.wikipedia.org/wiki/Geomagic), Rapidform). Например пазара предлага различни плъгини за установени CAD-програми като SolidWorks. Xtract3D, DezignWorks и Geomagic за SolidWorks позволяват манипулиране на 3D сканирането директно в SolidWorks. Други CAD приложения са достатъчно здрави, за да манипулират ограничени точки или полигонни модели в CAD среда(напр. [CATIA](https://en.wikipedia.org/wiki/CATIA), [AutoCAD](https://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD), [Revit](https://en.wikipedia.org/wiki/Revit)).

**От множество 2D сечения**

Скенери CT, industrial CT, MRI, или micro-CT не създават облаци от точки, а множество от 2D разрези(сечения), наречени могорама, които след това се подреждат заедно за създаването на 3D представяне. Има няколко начина да се направи в зависимост от необходимостта на изхода:

* Рендиране на обема(Volume rendering): Различните части на обекта имат обикновено различни прагови стойности и плътност на сивата скала. От това може да се конструира и покаже на екран 3-измерен модел. Могат да се конструират множество модели от различни прагове, позволяващи различни цветове да представят всеки компонент от обекта. Обемното изобразяване обикновено само за визуализация на сканирания обект.
* Сегментиране на изображения: Когато различните структури имат подобни прагови стойности/сива скала, е невъзможно да бъдат разделени просто чрез коригиране на параметрите за визуализиране на обема. Това решение се нарича сегментиране, ръчна или автоматична процедура, която може да премахне нежелани структури от изображение. Софтуерът за сегментиране обикновено позволява експорт на сегментираните структури в CAD или STL формат за последваща манипулация.
* Базирано на изображения мрежово свързване: Когато се използват данни 3 измерно изображение за изчислителен анализ(напр. CFD и FEA), простото сегментиране на данни и мрежово свързване в CAD може да отнеме много време и да бъде практически невъзможно за сложните топологии, типични за данните за изображения. Решението се нарича мрежа базирана на изображения, автоматичен процес на генериране на точно и реалистично описание на сканираните данни.

**От лазерни сканирания**

Лазерното сканиране описва общ метод за вземане на проби или сканиране на повърхност чрез лазерна технология. Съществуват няколко области на приложение, което се различава главно по мощността на използваните лазери и по резултатите от процеса на сканиране. Нискоенергийн лазера се използва, когато сканираната повърхност не трябва да се повлиява, напр. когато трябва само да се дигитализира. Конфокалното или 3D лазерно сканиране са методи за придобиване на информация за сканирана повърхност. Друго приложение на нискоенергийния лазер използва структурирана светлина за проекция на светлина за метрология на плоскостта на слънчевите клетки, което позволява изчисляването напрежението през над 2000W на час.

Мощността на лазера използвана при оборудване на лазерно сканиране в индустриални приложения, обикновено е по-малка от 1W. Нивото на мощност обикновено е от порядъка на 200 mW или по-малко, но понякога и повече.

**От снимки**

3D събирането на данни и възстановяването могат да се извършват с помощта на стерео двойки изображения. Стерео фотограметрията или фотограметрията, базирана на блокове от застъпващи се снимки, е основния подход за 3D картографиране и реконструкция на обект чрез използване на 2D изображения. Фотограметрията от близко разстояние също е узряла до нивото, при което камерите или цифровите фотоапарати могат да се използват за заснемане на близки изображения на обекти, напр. сгради и реконструирането им чрез използване на същия алгоритъм като въздушната фотограметрия. Пример за софтуер , който може да направи това, е Vexcel FotoG 5. Този софтуер вече е заместен от Vexcel GeoSynth. Друга подобна програма е Microsoft Photosynth.

Полуавтоматичен начин за получаване на 3D топологично структурирани данни от 2D въздушни стерео изображение е представен от Sisi Zlatanova. Процесът включва ръчно цифровизиране на редица точки, необходими за автоматичната реконструкция на 3D обекти. Всеки реконструктуриран обект се валидира чрез наслагване на неговата графика с телена рамка в стерео модел. Топологично структурираната 3D информация се съхранява в база данни и също се използва за визуализацията на обекта. Забележителният софтуер, използван за 3D събиране на данни с помощта на 2D изображения включва напр. Agisoft Metashape, RealityCapture and ENSAIS Engineering College TIPHON.

Модел за автоматично извличане сгради заедно с концепцията за съхранение на модели на сгради покрай терена и други топографски данни в топографска информационна система е разработена от Franz Rottensteiner. Неговият подход се основава на интегрирането на оценките на параметрите на сградата в процеса на фотограметрия, прилагайки хибридна схема за моделиране. Сградите се декомпозират в набор от прости примитиви, които се реконструират индивидуално и след това се комбинират чрез Булеви операции. Вътрешната структура на данните на примитивите и съставните модели се основава на методите за представяне на граници.

Множество изображения се използват в подхода на Zeng за реконструиране на повърхност от множество изображения. Основната идея е откриване на интеграция между 3D стерео данните и 2D калибрираните изображения. Това подход е мотивиран от факта, че само здрави и точни точки на характеристиките, оцелели от геометричния контрол на множество изображения, се реконструират в пространството. Тогава недостатъчната плътност и неизбежните дупки в стерео данните трябва да бъдат запълнени чрез използване на информация от множество изображения. По този начин идеята е да се конструират първо малки повърхностни петна от стерео точки, след това постепенно да се разпространяват само надеждни петна в техния квартал от изображения в цялата повърхност, като се използва стратегия best-first. По този начин проблемът се свежда до търсене на оптимална локална повърхностна кръпка, преминаваща през даден набор от точки в изображението.

Мултиспектралните изображения също се използват за 3D откриване на сгради. В процеса се използват данни за първи и последния пулс и нормализирания индекс на вегетацията на разликата.

Използват се и нови техники за измерване, за да се получат измервания на и между обекти на единични изображения чрез използването на проекция или сянка, както и тяхната комбинация. Тази технология привлича внимание предвид бързото време за обработка и далеч по-ниската цена сравение със стерео измерванията.

1. **Приложения**

**Строителна индустрия и гражданското строителство**

* Роботизиран контрол: напр. лазерен скенер може да функционира като “око” на робота
* Изградени чертежи на мостове, индустриални планове и монументи
* Документация на исторически обекти
* Моделиране и оформяне на обекти
* Контрол на качеството
* Количествени проучвания
* Мониторинг на полезния товар
* Редизайн на магистрала
* Установяване на еталонна марка на съществуваща форма/състояние, за да се открият структурни промени, произтичащи от излагане на екстремни натоварвания като земетресение, удар на кораб/камион или пожар
* Създаване на ГИС карти и геоматика
* Лазерно сканиране на мини и карстови кухини
* Съдебна документация

**Процес по проектиране**

* Повишаване на точността при работа със сложни части и форми
* Координиране дизайн на продукт чрез използване на части от множество източници
* Актуализиране на стари CD сканиранирания с тези от по-съвременните технологии
* Подмяна липсващи или стари части
* Създаване на икономия на разход чрез разрешаване на вградени дизайнерски услуги, например в автомобилни производствени предприятия
* “Довеждане на инсталацията до инженерите” със споделени уеб сканирания
* Спестяване на пътни разходи

**Развлечение**

3D скенерите се използват от Развлекателната индустрия за създаване на цифрови 3D модели за филми, видео игри и развлекателни цели. Те са много използвани във виртуалната кинематография. В случаите, когато съществува реален еквивалент на модел, е много по-бързо да се сканира обекта от реалния свят, отколкото ръчно да се създава модела чрез използване на софтуер за 3D моделиране. Често художниците извайват физически модели на това, което искат, и ги сканират в цифров формат, вместо директно да създадат цифровия модел на компютър.

**3D фотография**

3D скенерите се развиват за използване на камери за точно представяне на обекти. От 2010г. се появяват компании, които създават 3D портрети на хора(3D фигури или 3D селфи).

**Правоприлагане**

3D лазерното сканиране се използва от изпълнителните органи по целия свят. 3D моделите се използват на място на:

* Местопрестъпления
* Траектории на куршуми
* Анализ на модел на кървави петна
* Възстановяване на аварии
* Бомбардировки
* Катастрофи на самолети и още

**Обратно инженерство**

Обратното инженерство на механични части изисква прецизен цифров модел на обектите, за да бъдат репродуцирани. Вместо набор от точки, прецизният модел може да бъде представен от полигонна мрежа, набор от плоски или извити NURBS повърхности или в идеалния случай за механични компоненти, CAD твърд модел. 3D скенер може да се използва за цифровизация на свободна форма или постепенно променяща се оформени компоненти, както и призматични геометрии, докато координатно измервателна машина обикновено се използва само за определяне на прости размери на силно призматичен модел. След това тези данни от точки се обработват, за да се създаде използваем цифров модел , обикновено чрез използването на специален софтуер за обратно инженерство.

**Недвижими имоти**

Земята или сградите могат да се сканират в 3D модел, който позволява на купувачите да обикалят и огледат имота дистанционни, без да е необходимо да присъстват в имота. Вече има поне една компания, която предлага 3D сканирани виртуални разходки. Типична виртуална обиколка ще се състой на изглед на куклена къща(липсва една стена), вътрешен изглед, както и план на етажа.

**Виртуален/Отдалечен туризъм**

Околната среда на място, което ни интересува, може да се бъде заснето и преобразувана на 3D модел. Този модел след това може да се разглежда от публиката или с VR интерфейс, или с традиционен 2D интерфейс. Това позволява на потребителите да разглеждат места, които са неудобни за пътуване.

**Виртуално наследство**

Извършени са много изследователски проекти чрез сканиране на исторически артефакти както за документация, така и за анализи.

Комбинираното използване на 3D сканиране и 3D принтиране позволява репликация на реални обекти без използването на традиционните техники за леене на гипс, което в много случаи може да бъде твърдо инвазивно за извършване на ценни или деликатни артефакти на културното наследство. В пример за типичен сценарии на приложение, модел на гаргойл е придобит цифрово с помощта на 3D скенер и произведените 3D данните са обработени с помощта на MeshLab. Полученият 3D модел се подава към машина за бързо прототипиране, за да се създаде истинска реплика от смола на оригиналния обект.

**Микеланджело**

През 1999 г. две различни проучвания започват сканиране на статуи на Микеланджело. Станфордския университет с група водена от Marc Levoy, използва персонализиран лазерен скенер за триангулация разработено от Cyberware за сканиране на статуи на Микеланджело във Флоренция, по-специално Давид, Приджиони и четирите статуи в параклиса Медичи. Сканиранията са дали плътност на точките от една проба от 0.25 мм, достатъчно детайло, за да се видят следите от длетото на Микеланджело. Тези подробни сканирания създават големи обеми от данни(до 32ГБ) и обработка на данните от неговите сканирания отне 5 месеца. Приблизително през същия период изследователска група от IBM, водена от H. Rushmeier и F. Bernardini, сканира Пиета от Флоренция като придобива както геометрични, така и цветни детайли. Дигиталният модел, резултат от сканирането на Станфорд, беше напълно използван при последното възстановяване на статуята през 2004.

**Монтичело**

През 2002 г. Давид Любке и др. сканират “Монтичеко” на Thomas Jefferson. Използван е комерсиален ToF лазерен скенер DeltaSphere 3000. Данните от сканирането са комбинирани по-късно с цветни данни от цифрови снимки, за да се създаде виртуалния Монтичело, а кабинетът на Джеферсън е изложен в музей на изкуството в Ню Орлиънс през 2003 г. Виртуалната изложба на Монтичело симулира прозорец към библиотека на Джеферсън. Експозицията се е състояла от заден прожекционен екран на стената и двойка стерео очила за гледане. Очилата, комбинирани с поляризирани проектори, осигуряват 3D ефект. Хардуерът за проследяване на позицията върху очилата позволява на дисплея да се адаптира, когато зрителят се движи, създавайки илюзия, че дисплеят всъщност е дупка в стената, гледаща към библиотеката на Джеферсън. Експозицията на кабинета на Джеферсън представлява бариерна стереограма(по същество неактивна холограма, която изглежда различна от различни ъгли) на кабинета на Джеферсън.

**Клинописно писмо**

Първите 3D модели на клинописни писма са придобити в Германия през 2000 г. От 2003 г. така наречения проект Digital Hammurabi придоби клинописни таблети с лазерен скенер с триангулация използващ редовен решетъчен шаблон с разделителна способност от 0.025 мм(0.00098 инча). С използването на 3D скенери с висока резолюция от университета в Heidelberg за придобиване на писма през 2009 г. разработката на GigaMesh Software Framework започва на визуализира и извлича различни клинописни знаци от 3D моделите. Използвана е за дигитализиране на около 2000 3D писма на Hilprecht в Jena, за да създаде набор от данни за бенчмарк с отворен достъп и анотирана колекция 3D модели на писма, свободно достъпни под лиценз CC BY.

**Гробниците на Касуби**

Проект за 3D сканиране от 2009 г. в историческите гробници на Касуби в Уганда, обект на световното наследство на ЮНЕСКО, използвайки Leica HDS 4500, създаде подробни архитектурни модели на Muzibu Azaala Mpanga, основната сграда в комплекса и гробищата Kabakas (Kings) в Уганда. Пожар на 16.03.2010г изгори голяма част от структурата на Muzibu Azaala Mpanga и работата по реконструкцията вероятно ще се облегне силно върху набора от данни, създаден от мисията на 3D сканиране.

**"Plastico di Roma antica"**

През 2005 г. Gabriele Guidi сканира "Plastico di Roma antica", модел на Рим създаден през миналия век.Нито метода на триангулация, нито ToF не отговарят на изискванията на този проект, защото сканираният обект е голям и има малки детайли. Те обаче откриват, че моделирания светлинен скенер е в състояние да осигури както способността да сканира обект, така и необходимата точност. Скенерът с модулирана светлина е бил допълнен от триангулиращ скенер, който е използван да сканира някои части на модела.

**Други проекти**

Проектът 3D Encounters в Музея за египетска археология в Петри има за цел да използва 3D лазерно сканиране за създаване на висококачествена библиотека с 3D изображения на артефакти и да даде възможност за дигитални пътуващи изложби на крехки египетски артефакти, English Heritage изследва използването на 3D лазерно сканиране за широк набор от приложения за получаване на археологически данни и данни за състоянието, а Националният приподозащитен център в Ливърпул също е произвел 3D лазерни сканирания по поръчка, включително преносими обекти и сканирания на място на археологически обекти. Смитсоновият институт има проект наречен Smithsonian X 3D, който се отличава с широката гама от 3D обекти, които се опитват да сканират. Те включват малки обекти като насекоми и цветя, до такива с човешки размери като полетния костюм на Амелия Еърхарт, до обекти с размер на стая като Gunboat Philadelphia, до исторически обекти като Liang Bua в Индонезия. Също така трябва да се отбележи, че данните от тези сканирания се предоставят на обществеността безплатно и могат да се изтеглят в няколко формата.

**Медицински CAD/CAM**

3D скенерите се използват за сканиране на 3D формата на пациент в ортопедията и стоматологията. Постепенно заместват отегчителен гипс. След това CAD/CAM софтуерът се използва за проектиране и производство на ортези, протези и зъбни импланти.

Много стоматологични CAD/CAM системи и стоматологични лабораторни CAD/CAM системи използват 3D скенерни технологии да улавят 3D повърхностни на дентален препарат(*in vivo* или *in vitro*), за да се направи цифрото възстановяване с помощта на CAD софтуер и в крайна сметка да се произведе окончателно възстановяване с помощта CAM технология(като CNC фреза или 3D принтер). Системите за столовете са проектирани да улеснят 3D сканирането на препарат *in vivo* и да произведат възстановяване(като Crown, Onlay. Inlay и Veneer).

**Осигуряване на качеството и индустриална метрология**

Дигитализацията на обекти от реалния свят е от жизненоважно значение в различни области на приложение. Този метод се прилага особено при индустриално осигуряване на качеството за измерване на точността на геометричните размери. Индустриалните процеси като сглобяване са сложни, силно автоматизирани и обикновено базирани на CAD(computer-aided design) данни. Проблемът е, че същата степен на автоматизация е необходима за осигуряване на качеството. Например много сложна задача е да се сглоби модерен автомобил, тъй като той се състой от много части, които трябва да паснат взаимно в самия край на производствената линия. Оптималната производителност на този процес се гарантира от асистентите за осигуряване на качеството. Особено трябва да се провери геометрията на металните части, за да се гарантира, че те имат правилни размери, съвпадат и накрая работят надеждно.

В рамките на високо автоматизирани процеси се получените геометрични размери се предават на машини, които произвеждат желаните обекти. Поради механични несигурности и ожулвания резултатът може да се различава от цифровия си номинал. За автоматично улавяне и оценка на отклонение, произведената част също трябва да бъде дигитализирана. Поради тази причина се прилагат 3D скенери за генериране на точкови проби от повърхността на обекта, които накрая се сравняват с номиналните данни.

Процесът на сравняване на 3D данни спрямо CAD модел се нарича CAD-Compare и може да бъде полезна техника за приложения като определяне на модели на износване на матрици и инструментална екипировка, определяне на точността на окончателно изграждане, анализиране на празнини и избликвания, анализ на много сложни повърхности на скулптури. Понастоящем лазерните триангулационни скенери, структурирана светлина и контактните скенери са преобладаващите технологии, използвани за промишлени цели, като контактното сканиране остава най-бавната, но като цяло най-точната опция. Независимо от това, технологията за 3D сканиране предлага очевидни предимства в сравнение с традиционните измервания на сензорна сонда. Бялата светлина или лазерните скенери точно цифровизират обектите наоколо, улавяйки финни детайли и повърхности със свободна форма без референтни точки или спрей. Цялата повърхност е покрита със рекордна скорост без риск от повреждане на детайла. Графичните диаграми за сравнение илюстрират геометрични отклонение на цялото ниво на обекта, представяйки по-задълбочена представа за потенциалните причини.

**Заобикаляне на транспортните разходи и международните мита за внос/износ**

3D сканирането може да се използва заедно с технологията за 3D печат за визуално телепортиране на обект на разстояние, без да е необходимо транспортиране и в някои случаи на налагане на митнически такси за внос/износ. Например пластмасов обект може да бъде сканиран в САЩ, файловете може да бъдат изпратени до 3D принтер в Германия, където обекта се репликира, ефективно телепортирайки обекта по цял свят. В бъдещето, когато технологиите за 3D сканиране и 3D принтиране станат все по-разпространени, правителствата по света ще трябва да преразгледат и пренапишат търговските споразумения и международните закони.

1. **Реконструкция на обекти**

След като данните бъдат събрани , получените(и понякога вече обработени) данни от изображенията или сензорите трябва да бъдат възстановени. Това може да се направи в същата програма или в някой случаи, 3D данните трябва да бъдат пренесени в друга програма за последващо прецизиране и/или добавяне на допълнителни данни. Такива допълнителни данни могат да бъдат данни за местоположението от GPS, … Също така след реконструкцията, данните могат да бъдат директно внедрени в локална (ГИС) карта или световна карта като Google Earth.

After the data has been collected, the acquired (and sometimes already processed) data from images or sensors needs to be reconstructed. This may be done in the same program or in some cases, the 3D data needs to be exported and imported into another program for further refining, and/or to add additional data. Such additional data could be gps-location data, ... Also, after the reconstruction, the data might be directly implemented into a local (GIS) map[[86]](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanning" \l "cite_note-86)[[87]](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanning#cite_note-87) or a worldwide map such as [Google Earth](https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Earth).

### 

### 

### 

* <https://en.wikipedia.org/wiki/3D_reconstruction>

В компютърното зрение и компютърната графика 3D реконструкцията е процес на улавяне на формата и външния вид на реални обекти. Този процес може да бъда осъществен от чрез активни или пасивни методи. Ако моделът има право да променя своята форма във времето, невърда или пространствено времева реконструкция.

1. **Мотивация и приложения**

Изследването на 3D реконструкцията винаги е било трудна цел. Чрез използването на 3D реконструкцията може да се определи 3D профила и да се знаят 3D координатите на която и да е точка от профила. 3D реконструкцията на обекти е общо научен проблем и основна технология в голямо разнообразие от области на приложение като CAGD( Computer Aided Geometric Design), компютърна графика, компютърна анимация, компютърно зрение, медицинско изобразяване, изчислителни науки, виртуална реалност, дигитална медия и др. Например, информацията за лезиите на пациентите може да бъде представена в 3D на компютър, което предлага нов и точен подход в диагностиката и по този начин има жизненоважна клинична стойност. Цифровите модели на кота могат да бъдат реконструирани с помощта на модели като въздушно лазерна алтиметрия или радар със синтетична апаратура.

1. **Активни методи**

Активните методи, т.е. методи за данни за обхвата, като се има предвид карта на дълбочината, реконструират 3D профила чрез подход с числово приближение и изграждат обекта в сценарий, базиран на модел. Тези методи активно наместват на реконструирания обект, или механично, или радиометрично, използвайки камери, за да получат карта на дълбочината, напр. структурирана светлина, лазерен далекомер и други техники за активно сканиране. Прост пример за механичен метод би бил използването на дълбокомер за намиране на разстоянието до въртящ се обект, поставен върху грамофон. По-приложимите радиометрични методи излъчват лъчение към обекта и след това измерват отразената му част. Примерите варират от движещи се източници, цветна светлина, ToF лазер до микровълнови и 3D ултразвук.

1. **Пасивни методи**

Пасивните методи за 3D реконструкция не пречат реконструирания обект. Те използват само сензор, за да измерят сиянието отразено или излъчено от повърхността на обекта, за да направят извод за неговата 3D структура чрез разбиране на изображението. Обикновено сензорът е сензор за изображение в камера, чувствителна към видима светлина, а входът към метода е набор от цифрови изображения(едно, две или повече) или видео. В този случай говорим за реконструкция, базирана на изображения и резултатът е 3D модел. В сравнение с активните методи, пасивните методи могат да се прилагат в по-широк кръг от ситуации.

**Методи за монокулярни реплики**

Методите с монокулярни методи се отнасят до използването на едно или повече изображения от една гледна точка(камера), за да се премине към 3D реконструкция. Той използва 2D характеристики(напр. силуети, засенчване и текстура) за измерване на 3D формата и затова е наречен Shape-From-X, където X може да бъде силуети, сенки, текстура и др. 3D реконструкцията чрез монокулярни реплики бърза и проста и е необходимо само едно подходящо цифрово изображение, така че само една камера да е подходяща. Технически избягва стерео кореспонденцията, която е доста сложна.

**Shape-from-shading** - поради анализа за инфомрация за сянка в изображението, чрез използване на отражение на Ламберти, дълбочината на нормалната информация на повърхността на обекта се възстановява, за да се възстанови.

**Фотометрично стерео** - Този подход е по-сложен от метода на засенчване. Изображения направени при различни условия на светлината, се използват за решаване на информацията за дълбочината. Струва си да се спомене, че този подход изисква повече от едно изображение.

**Форма от текстура** - да предположим, че такъв обект с гладка повърхност, покрита с репликирани текстурни единици и неговата проекция от 3D на 2D води до изкривяване и перспектива. Изкривяването и перспективата, измерени в 2D изображения, дават намек за обратно решаване на дълбочината на нормалната информация на повърхността на обекта.

**Стерео зрение**

Стерео зрението получава триизмерна геометрична информация на обект от множество изображения въз основа на изследването на човешката зрителна система. Резултатите са представени във форма на карта на дълбочината. Изображенията на обекта, придобити от двете камери едновременно от различни гледни точки или от една камера по различни време, се използват за възстановяването на неговата 3D геометрична информация и реконструкция на неговия 3D профил и местоположение. Това е по-директно от монокулярните методи като засенчване на формата.

Бинокулярният метод за стерео зрение изисква две еднакви камери с паралелна оптична ос, за да наблюдават един и същи обект, като придобиват две изображения от различна гледна точка. По отношение на тригонометричните отношения, информацията за дълбочината може да се изчисли от несъответствието. Бинокулярният метод за стерео зрение е добре разработен и стабилно допринася за благоприятна 3D реконструкция, което води до по-добро представя в сравнение с други 3D конструкции. За съжаление, той е много интензивен, освен това се представя доста зле, когато базово разстояние е голямо.

**Поставяне на проблем и основи**

Подходът за използване бинокулярно стерео зрение за получаване на 3D геометрична информация на обекта се основава на визуално несъответствие. Следващата снимка предоставя проста схематична диаграма на хоризонтално зрящо бинокулярно стерео зрение, където е базовата линия между проективните центрове на две камери.

Началото на координатната система на камерата е оптичния център на обектива, както е показано на фигурата. Всъщност равнината на изображението на камерата е зад оптичния център на обектива на камерата. За да се опрости изчислението обаче, изображенията се изчертават пред оптичния център на лещата от . Осите **u** и **v** на координатната система на изображениетоа в една и съща посока съответно с осите **x** и **y** на координатната система на камерата. Началото на координатната система се намира на пресечната точка на равнината на изображението и оптичната ос. Да предположим, че така централна точка , чиито съответни точки на изображението са съответно и в лявата и дясната равнина на изображението. Нека приемем, че двете камери се намират в една и съща равнина, след това **y**-координатите на и са еднакви, т.е. . Според тригонометричните отношения

, където са координати на в координатната система на лявата камера, е фокусното разстояние на камерата. Визуалното несъответствие се определя като разликата в местоположението на точката на изображението на определена централна точка, придобита от двете камери,

въз основа, на която могат да се изчислят координатите на .

Следователно след като координатите на точките в изображението са известни, освен параметрите на двете камери, може да се определи и 3D координатата.

3D реконструкцията се състои от следните точки:

* Придобиване на изображение

2D цифровото придобиване на изображение е източник на информация за 3D реконструкцията. Често използваната 3D реконструкция се основава на две или повече изображения, въпреки че в някои случаи може да се използва само едно изображение. Съществуват различни видове методи за получаване на изображение, които зависят от поводите и целите на съответното приложение. Трябва да бъдат използвани не само изискванията на приложението, но също така трябва да се има предвид визуалното неравенство, осветеността, работата на камерата и характеристиката на сцената.

* Калибриране на камерата(*Main article:* [*Geometric camera calibration*](https://en.wikipedia.org/wiki/Geometric_camera_calibration))

Калибрирането на камерата в бинокулярно стерео зрение се отнася до определянето на връзката между мапинга на точките на изображениетои и координатите на пространството в 3D сценария. Калибрирането на камерата е основна и съществена част от 3D реконструкцията чрез бинокулярно стерео зрение.

* Извличане на функции(*Main article:* [*Feature extraction*](https://en.wikipedia.org/wiki/Feature_extraction))

Целта на извличането на характеристики е получаване на характеристиките на изображението, чрез които се обработва стерео съответствие. В резултат характеристиките на изображението са тясно свързани с избора на методи за съвпадение. Няма такава универсално приложима теория за извличане на характеристики, водеща до голямо разнообразие от стерео кореспонденция в изследванията за бинокулярно стерео зрение.

* Стерео кореспонденция(*Main article:* [*Image registration*](https://en.wikipedia.org/wiki/Image_registration))

Стерео кореспонденцията е да се установи съответствието между примитивни фактори в изображението, т.е. да съответства наи от две изображения. Трябва да се забележат определени фактори на смущения в сценария, напр. осветеност, шум, физически характеристики на повърхността и др.

* Възстановяване

Според точната кореспонденция, в комбинация с параметрите за точното местоположения на камерата, 3D геометричната информация може да бъде възстановена без затруднение. Поради факта, че точността на 3D реконструкцията зависи от прецизността на коренсопндецията, грешката на параметрите за местоположението на камерата и така нататък, предишните процедури трябва да се извършват внимателно, за да се постигне относително точна 3D реконструкция.

* 3D реконструкция на медицински изображения

Клиничната рутинна диагностика, проследяване на пациентите, компютърно подпомогната хирургия, хирургично планиране и др. се улесняват от точни 3D модели на целаната част от човешката анатомия. Основната мотивация за 3D реконструкция включва:

* + Подобрена точно благодарение на агрегирането на множество изгледи
  + Може да се използва за симулиране, планиране, насочване или друго подпомагане на хирургията при извършване на медицинска процедура.
  + Може да определи точната позиция и ориентация на анатомията на човека
  + Помага в редица клинични области, като планиране на лъчетерапия и проверка на лечението, гръбначна хирургия, тазобедрена става, невро интервенция и аортно стентиране.
* Приложения

3D реконструкцията има приложения в много области. Те са:

* + Тротоарно инженерство
  + Медицина
  + Реконструкция на видео със свободна гледна точка
  + Роботизирано картографиране
  + Градоустройство
  + Томографска реконструкция
  + Игри
  + Виртуална среда и виртуален туризъм
  + Наблюдение на земята
  + Археология
  + Разширена реалност
  + Обратно инженерство
  + Заснемане на движение
  + 3D разпознаване на обекти, разпознаване на жестове и проследяване на ръце
* Декларация на проблем:

Предлаганите алгоритми за реконструкция са изключително бавни и не могат да се използват в реално време. Въпреки че представените алгоритми са все още в ранна детска възраст, но те имат потенциал за бързо изчисление.

* Съществуващи подходи:
  + Delaunay and alpha-shapes
    - Методът на Delaunay включва извличане на тетраедърни от началния облак от точки. Идеята за “форма” за набор от точки в пространството се дава от концепцията за алфа-фигури. Като се има предвид набор от крайни точки и реалния параметър алфа, е многоъгълник(обобщаването на произволно измерение от двуизмерен и триизмерен многоъгълник), който не е нито изпъкнал, нито непременно свързан. За голяма стойност алфа-формата е идентична с изпъкналия корпус на . Алгоритъмът предложен от Edelsbrunner и Mucke елиминира всички тетраедри, които са ограничени от заобикалящата сфера, по-малка от . След това повърхността се получава с външните триъгълници от получения тетраедър.
    - Друг алгоритъм наречен Tight Cocone обозначава първоначалните тетраедри като интериор и екстериор. Намерените вътре и вън триъгълници образуват получената повърхност.

И двата метода са били разширени наскоро за реконструкция на облаци от точки с шум. При този метод качеството на точките определя приложимостта на метода. За прецизна триангулация, тъй като се използва целия набор от точки в облака, точките на повърхността с грешка над прага ще бъдат изрично представени в реконструираната геометрия.

* + Методи с нулево множество(zero-set)

Реконструкцията на повърхността се извършва с помощта на функция за разстояние, която присвоява на всяка точка в пространството подписано разстояние до повърхността . Контурният алгоритъм се използва за извличане на нулево множество, което се използва за полигонно представяне на обекта. По този начин проблемът с възстановяване на повърхността от дезиорентиран облак от точки се свежда до дефиницията за подходяща функцияс нулева стойност на пробните точки и различна до нула стойност за останалите. Алгоритъмът наречен маршируващи кубове, установява използването на такива методи. Има различни варианти за даден алгоритъм, някои използват дискретна функция, докато други използват полихармонична радиална базова функция, която се използва за регулиране на началния набор от точки. Използват се функции като “Преместване на най-малките квадрати”, основни функции с локална поддръжка, базирани на уравнението на Поасон. Загубата на точно в геометрията в области с екстремна кривина, т.е. ъгли, ръбове са едни от основните проблеми, с които може да се сблъска. Освен това, предварителната обработка на информация чрез прилагането на някакъв тип филтриращи техники, също влияе върху определянето на ъглите, като ги омекотява. Има няколко проучвания свързани с техниките на последваща обработка, използвани при реконструкцията за откриване и усъвършенстване на ъгли, но тези методи увеличават сложността на решението.

* + VR техника

Прозрачността на целия обем на обекта се визуализира с помощта на VR техника. Изображенията ще се извършват чрез прожектиране на лъчи през данните за обема. Покрай всеки лъч трябва да се изчисляват непрозрачността и цвета при всеки воксел(voxel). Тогава информацията, изчислена покрай всеки лъч, ще бъде агрегирана до пиксел от равнината на изображението. Тази техника помага да се види цялата компактна структура на обекта. Тъй като техниката се нуждае от огромно количество изчисления, което изисква силна конфигурация, компютрите са подходящи за данни с нисък контраст. Два основни метода за проектиране на лъчи могат да се разглеждат, както следва:

* + - *Метод за обект-ред*: Прожектиращите лъчи преминават през обема отзад напред(от обема по равнината на изображението)
    - *Метод за подреждане на изображения или излъчване на лъчи*: Прожектиращите лъчи минават през обема отпред назад(от равнината на изображението към обема). Съществуват някои други методи за съставяне на изображение, подходящи в зависимост от целите на потребителя. Някои обичайни методи в медицинското изобразяване са MIP(проекция с максимална интензивност), MinI(проекция с минимална интензивност) и NPVR(нефотореалистично визуализиране на обема).
    - Voxel Grid

В тази техника на филтриране се взема проба от входното пространство, чрез използване на решетка от 3D воксели, за да се намали броя на точките. За всеки воксел се избира центроид като представител на всички точки. Има два подхода избор на центроида на воксел или избор на центроида на точките, разположени във воксела. За да се получат вътрешните точки, средните точки имат по-високи изчислителни разходи, но предлагат по-добри резултати. По този начин се получава множество на входното пространство, което грубо представлява подлежащата повърхност. Методът Voxel Grid представлява същите проблеми като другите филтриращи техники: невъзможност за дефиниране на краен брой точки, които представят повърхността, загуба на геометрична информация поради намаляване на точността във воксел и чувствителност към шумни входни пространства.

* <http://www.ada3d.com/HR/3DScanningApplications.pdf>

*Със сигурност от тук могат да вземат хубави описание и разяснения за увод и въведение.*

* <https://en.wikipedia.org/wiki/Nondestructive_testing> - неразрушаващо(ненанасящо щети) тестване