



МЕТОДИКА ЗА СКЕНИРАНЕ НА МЕСТОПРОИЗШЕСТВИЕ ПОСРЕДСТВОМ 3D ЛАЗЕРЕН СКЕНЕР

Триизмерният лазерен скенер е устройство, което анализира реални обекти и обкръжаващата ги среда, за да събере данни за тяхната форма и техните външни признаци (т.е. цвят). Събраните данни могат да се използват за изграждане на 3D модели. 3D лазерното скениране се разработва през последната половина на 20-ти век в опит точно да се пресъздадат повърхностите на различни обекти и пространства. Първоначално технологията е особено полезна в областта на научноизследователската дейност и промишлеността, докато с развитието си тя намира приложение и в области като медицина, архитектура, археология, криминалистика, развлекателната индустрия и много други.

Въвеждането на нови технологии като 3D лазерното скениране при разследване на събития осигурява по-гъвкави подходи за справяне с познатите предизвикателства в тази област. При стартиране анализа на аспектите от произшествието, специалистите първо трябва да се опитат да възстановят средата, което означава, че те трябва да съберат колкото се може повече доказателства и измервания от местопрестъплението. Без тези пространствени данни в миналото на следователите е било изключително трудно да разберат как точно е извършено престъплението и направят каквито и да е заключения за хода на събитието. Събирането на улики и доказателства е от съществено значение, но с някои от конвенционалните техники може да представлява изключителна трудност, поради техните субективност на данните и понякога разрушаващ първоначалното състояние на обекта характер, така че колкото по-точни са данните, толкова по-конкретни и обективни анализи могат да се извършат. В следващите редове екипът на „АИКЮВОЛУШОН БЪЛГАРИЯ” ЕООД ще представи основните стъпки при заснемане на събитие, подлежащо на разследване с помощта на 3D лазерно скениране.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ
ЕВРОПЕЙСКИ
СОЦИАЛЕН ФОНД



1 Технически методи за фиксиране на следи чрез технологията 3DLS (операции при скенирането).

Качеството и точността на 3D пикселните графики на скеновете зависи от няколко фактора:

- Фактори, на които може да повлияе оператора на скенера:
 - Настройките на резолюцията

За да бъдат пикселите на скена с по-голяма гъстота, е необходимо лазерният диод, който светва и изгасва с невидима за човека честота, да увеличи интензитета на своите сигнали. Излъчвайки по-често своите лъчи към обектите, той измерва повече точки от тяхната повърхност. Увеличаването на резолюцията експоненциално увеличава големината на файловете, които устройството записва, и могат да бъдат достигнати пределни граници на възможностите на хардуера и софтуера.
 - Настройки на скоростта на скениране.

Колкото по-бавно се върти скенера, толкова по-дълго време се задържа лазерният лъч върху един пиксел и толкова по-качествен е отразеният сигнал, който приема окото на скенера. По-бавната скорост съответно удължава времетраенето на скенирането.
 - Разстоянието до обектите на скениране



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ
ЕВРОПЕЙСКИ
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА
РАЗВИТИЕ НА
ЧОВЕШКИТЕ РЕСУРСИ

Колкото повече се приближи скенера до обекта, толкова по-точно е заснемането и толкова по-голяма става резолюцията на пикселната графика, защото с отдалечаването си от скенера разстоянието между точките в облака се разрежда.

Между настройките на резолюцията и скоростта има зависимости и граници, в които устройствата работят оптимално. При повечето видове скенери настройката на двете величини е направена по асоциативен начин, за улеснение на оператора.

- Фактори, на които не може да повлияе операторът на скенера:
 - От технологична гледна точка, такъв фактор е степента на отражение. Проблемни са двете крайности: когато обектите имат висока степен на отражаемост, като например огледала, или изобщо предмети с лъскава повърхност, или когато обектите са черни на цвят, който цвят най-много поглъща светлината на лазерния лъч. В такива случаи се практикува напръскване на обектите с талк или спрей бяла боя, които отлично отразяват лъча, но по обективни причини, те са допустими при разследвания само в ограничени случаи и то най-вече в лабораторни условия, защото тогава метода от безконтактен става контактен.
 - Нетехнологичните фактори, на които не може да повлияе оператора, като например климатични условия,



организационни фактори и др., са специфични при различните приложения. Повечето модели скенери работят при температури в диапазона на 0°C - 40°C, което поставя ограничения за тяхната употреба.

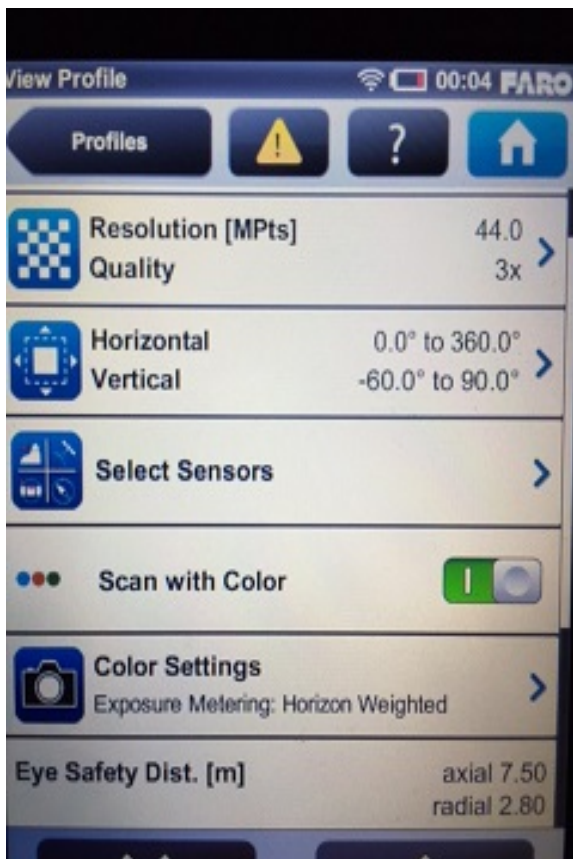
Други са изискванията за минимално отстояние от скенера, поради опасност лазерния лъч да увреди зрението на лицата в непосредствена близост. Това важи, разбира се и за членовете на следствено-оперативната група. В някои случаи, в зависимост от конкретния уред – 3D лазерен скенер, който се използва, може да произтекат рискове. Повечето съвременни скенери са с лазерен клас 1, които са безопасни за човешкото око, но също така в употреба са и скенери, с лазерен клас 3R, които изискват спазването на определена дистанция или употребата на специални защитни очила, какъвто е например Faro Focus 3D 120S. Аксиалното и радиалното отстояние, което трябва да се спазва по време на скенирането, е функция на резолюцията, която се настройва от специалиста-технически помощник – оператор на скенера. Затова, при работа с такива скенери, следва обсегът на запазване на местопроизшествието да бъде съобразен с това. Например за скенер Faro Focus 3D 120S при резолюция $\frac{1}{4}$ от максималната за уреда и качество x3 радиалното отстояние на хора без предпазни очила трябва да бъде мин. 2,8м., а аксиалното отстояние (над скенера) трябва да бъде мин. 7,5м. При резолюция $\frac{1}{5}$ от максималната и същото качество, радиалното отстояние пада на 2,2м, а аксиалното на 6,3м. При скениране с по-голяма резолюция отстоянието нараства и следва този въпрос своевременно да се



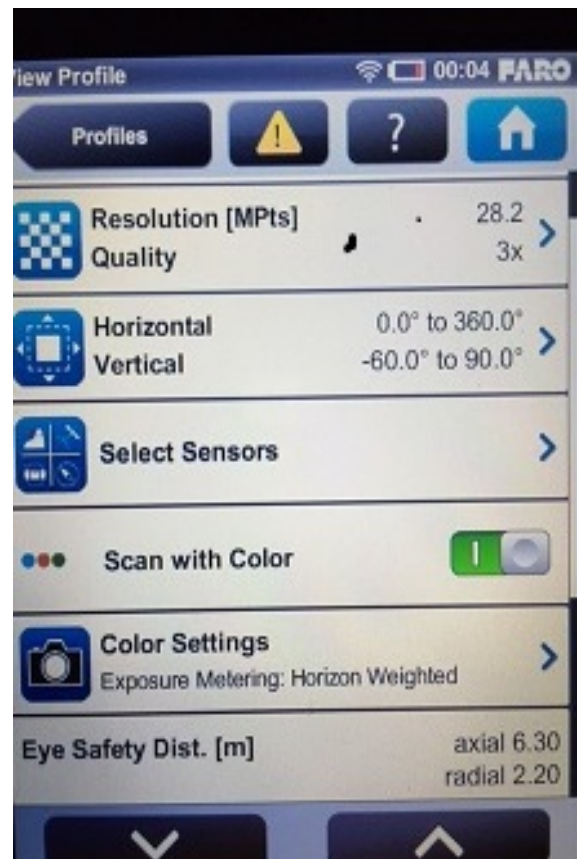
ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ
ЕВРОПЕЙСКИ
СОЦИАЛЕН ФОНД



комуникира със специалиста-технически помощник, който извършва скенирането и според настройките, които прави, трябва да знае колко метра е безопасното отстояние. Уредът автоматично изчислява и изписва тези минимални отстояния с всяка промяна на настройките, както е видно от приложената Фигура 1.



а.



б.

Фигура 1 (а, б). Настройки на скенера за качество и резолюция и минимално безопасно за очите отстояние.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ
ЕВРОПЕЙСКИ
СОЦИАЛЕН ФОНД



2 Технически средства за фиксиране на следи от подлежащо на разследване събитие чрез технологията 3DLS (методи на скениране).

В зависимост от конфигурацията скенер – обект на скениране различаваме 6 основни типа скениране, като първите два имат по два подтипа, подходящи съответно за средни и далечни разстояния, където скенерите мерят съответно по първия phase shifting и втория time of light методи на измерване, а пети и шести тип са за близки предмети и ползват третия – триангулачен метод на измерване. Изобразените и описани по-долу типове скениране са в основата на методологията, която се използва при разследването на събития. Уредите, които материализират тези типове скениране, са в постоянен процес на усъвършенстване. Те представляват инструментариум с много богати и ценни приложения, които за различните събития са различни. Познавайки добре този инструментариум, ръководителят на разследването може да вземе правилно решение какъв скенер му е необходим за конкретното местопроизшествие и какви експертизи може да могат да бъдат направени на база на всеки от тези типове скениране.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ
ЕВРОПЕЙСКИ
СОЦИАЛЕН ФОНД

[iQbg]



а.

Тип I, Подтип 1. Faro Focus 120S



б.

Тип I, Подтип 2. Ortech Ilris



в.

Тип II, Подтип 1. Riegl VMX-450



г.

Тип II, Подтип 2. Scout B1-100 UAS



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ
ЕВРОПЕЙСКИ
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА
РАЗВИТИЕ НА
ЧОВЕШКИТЕ РЕСУРСИ



д.

Тип III. Stop & Go – скениране



е.

Тип III. Stop & Go – скениране



ж.

Тип IV. Кинематично скениране на
закрито – Navvis M3



з.

Тип IV. Кинематично скениране на
закрито – Trimble TIMMS



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ
ЕВРОПЕЙСКИ
СОЦИАЛЕН ФОНД



и.



й.

Тип V. Скениране посредством мобилна трикоординатна измервателна машина Faro Arm + платформа LLP

Тип VI. Скениране посредством статичен скенер и въртяща платформа LLP

Фигура 2 (а, б, в, г, д, е, ж, з, и, й). Видове скениране.

Тип I. Стационарно скениране.

Скенера стои на едно място и от тази своя позиция заснема средата около себе си. Така получените „сурови“ скенове, където всеки облак от точки е в своя собствена координатна система, в последствие се обединява с останалите скенове в един цялостен облак от точки, който би могъл да се постави в друга желана координатна система, например с цел да се насложи с карти, CAD чертежи или спътникови снимки. Този процес се нарича **регистрация** на скеновете. Най-новите развития на технологията дават възможност, чрез добавяне на сензорика и автоматизирани алгоритми, регистрацията на стационарните скенове да става в реално

време, успоредно със скенирането, но с цел по-добро структуриране на информацията.

Според начина на насочване на лазерния лъч, стационарното скениране се делят на два подтипа:

- Подтип 1: Заснемане със скенери, които ротират лъча си.

Най-разпространеният метод е скенерите автоматично да се завъртат на 360° или по-малък зададен ъгъл около вертикалната ос на статива си, като едновременно с това лазерния лъч се рефлектира от рефлексно огледало, което синхронизирано с въртенето на цялото устройство около вертикалната ос се върти около хоризонтална надлъжна ос. Благодарение на тези две ротации, облака от точки придобива кълбовидна форма. Различните модели скенери от този тип могат да заснемат на разстояние до около 300 м., което ги прави много подходящи най-вече за ориентирани, обзорни и възлови снимки на разследвани събития. Точността им, която започва от 2 мм. намалява в зависимост от посочените в предходната точка фактори и не е достатъчна за детайлни снимки. Тези скенери измерват на принципа на сравняване на дължините на вълните на изпратения и отразения лазерен лъч и се характеризират с относително голяма бързина спрямо скенерите, които мерят времето на светлината да достигне обекта и да се отрази обратно от него. Един скен със средна резолюция отнема няколко минути и заедно с последвало заснемане на



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ
ЕВРОПЕЙСКИ
СОЦИАЛЕН ФОНД



няколко десетки дигитални фотографии, а един 360°/320° скен трае от няколко минути до 10 мин.

- Подтип 2: Заснемане със скенери които местят стъпково лъча си.

Скенерите, където лазерния лъч не описва въртеливо движение, се насочват ръчно от оператора, както фотографът или видеооператорът насочват ръчно камерите си в желаната посока. След като заснемат зададеното им с конкретна ширина и височина поле, те се отместват към следващото поле. След няколкократни премествания на полето тези скенове също могат да получат кълбовидна форма, но това отнема много повече време. При този тип стационарно скениране лъча се насочва от огледалце, което се движи и го направлява, така че той да „обходи“ определен брой редове и колони, докато запълни зададеното му за скениране поле. Облакът от точки от едно такова поле е с форма на пирамида. Този тип скенери могат да заснемат на разстояния до 3 км. с относително голяма точност, но доста по-бавно от тези от подтип 1. Принципът им на измерване е базиран на функция от скоростта на светлината. Тяхната „далекобойност“ ги прави особено подходящи в условия с опасен достъп, като активни свлачища, вулкани, лавини, ледници, зони с химични и радиационни замърсявания и др., но за бързи панорамни снимки, те не са подходящи.

Тип II. Кинематично скениране на открито.

При този тип скениране обектът на заснемане е неподвижен, а скениращата система се движи, предварително фиксирана върху превозно средство заедно с множество сензори. Тъй като при този тип заснемането е непрекъснато и няма отделни скенове от отделни позиции, регистрацията на облаците от точки се осъществява в реално време. Информационният поток от един или повече скенери се обработва с информационните потоци от камери и останалите сензори, които отчитат скоростта, наклона, посоката и точните географски координати на превозното средство, така че облакът от точки се получава в глобална координатна система на база информации от спътници, приемани чрез GPS антени.

- Подтип 1: Заснемане със скенери, които ротира лъча си.

Когато скенер от Тип I, Подтип 1 се ползва за кинематично скениране, той се настройва да работи в т. нар. профилен режим и да ротира само около хоризонталната си ос. Има и едноосни скенери, които са тясно предназначени само за профилно скениране. При движението на превозното средство ротираният от рефлексно огледалце лазерен лъч придобива спираловиден профил и така се получава облак от точки, който има цилиндрична форма. Според изискванията за качество и наличните ресурси този тип скенери могат да се развият в сложни скениращи системи, които да се състоят от няколко калибрирани по между си профилни скенера, дигитални или видеокамери, GPS антена или антени, сензори за инерциално движение и други видове сензори за

позициониране. Към тези хардуерни компоненти напоследък се добавят и интелигентни софтуерни решения, чиито алгоритми автоматично по време на скенирането разпознават характерни точки от скенираната среда и ги ползват като известни точки за позициониране на следващите точки, които се застъпват с предходните и по този начин ги свързват в един цялостен облак от точки. При скенерите, които се движат, грешката в точността на заснемането е сбора от грешки: от грешка на скенирането, която имаме при скенерите от Тип I, Подтип 1, и от грешка на позиционирането на превозното средство, за което е фиксирана скениращата система. Комбинациите от сензори за позициониране са много и зависят от превозното средство, което носи системата, и възможностите то да бъде оборудвано с тези сензори. Това може да бъде лек или товарен автомобил, АТW, количка, робот, влаков вагон или локомотив, безпилотно летящо устройство, хеликоптер, лодка или кораб или дори да се носи от оператора на гърба му като раница. Общото за тези системи е използването на поне една GPS антена или няколко такива антени, когато превозното средство е достатъчно голямо. За да се скенират обектите многостранно преминавайки покрай тях се използват едновременно два или четири калибрирани по между си скенера, чиито оси на въртене сключват по между си ъгъл от около 120 градуса и по този начин скенират образували се „джобове“ между обектите от двете страни на превозното средство. Този тип скениране е много ефикасен за бързо заснемане на големи територии, но за да се постигне точност от порядъка на 10 мм. е необходимо системата да има множество сензори, което я прави в пъти по-скъпа от стационарните скенери.

- Подтип 2: Заснемане със скенери, които местят стъпково лъча си.

Както и при стационарното скениране, този тип скенери, са предназначени за скениране от голямо разстояние, в диапазона 300 м. – 3км. и мерят разстоянието като функция на скоростта на светлината. Такива скенери се монтират на самолети, хеликоптери, безпилотни летателни апарати или кораби. Те се насочват в определена посока (при самолетите например – надолу) и облакът от точки има форма на триъгълна призма, като траекторията на движение е страна на призмата. Системата или ползва сензорите за локация на самото превозно средство, ако то има такава, или има допълнително монтирани GPS антени и други сензори. Когато липсват пътища или когато се цели бързина на заснемане на големи площи, това е най - ефективният, но и най - скъпият метод на скениране.

Тип III. Stop & Go скениране.

Тъй като скенирането в движение изисква употребата на доста сложна и скъпа сензорика за автоматична локализация на скенерите, се прилага и комбиниран метод между първите два вида - т.нар. Stop & Go, където скенера се намира върху подвижна платформа или превозно средство, но по време на скенирането, платформата стои неподвижно, а скенера заснема по начина, характерен за стационарното скениране. Така за постигане на същия резултат са нужни по-малко време и усилия отколкото при стационарния тип. Ограничение би могло да произтича само от

превозното средство, което трябва да бъде подходящо подбрано за съответния терен. Ако на превозното средство се монтират сензори за позициониране, това може значително да се облекчи регистрацията на скеновете, но тя не се осъществява в реално време, а се върши след скенирането в лабораторни условия. Ако системата е предназначена за външно скениране, на превозното средство може да се монтират една или повече GPS антени. Ако превозното средство се движи на разстояния от порядъка на десетки метри и има добра видимост между позициите, от които става заснемането, то позиционирането при този тип скениране може да се постигне и с лазерен трекер, който отстрани да следи превозното средство и да мери местоположението на скенера.

Като цяло Stop & Go скенирането се използва за бързо заснемане на площи от порядъка на няколко декара до няколко десетки декара на ден. Ако площта на местопроизшествието е по-малка или времето е повече, стационарното скениране би струвало по-малък ресурс, а ако площта е по-голяма или времето по-кратко от това, се налага скъпия, но високоефективен вариант с мобилните системи от първи или съответно от втори подтип.

Тип IV. Кинематично скениране на закрито.

Тъй като скениращите системи от втория тип ползват за позиционирането си GPS антени, те са подходящи само за външни условия, където тези антени имат видимост към спътници и могат да получат сигнал от тях. За



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ
ЕВРОПЕЙСКИ
СОЦИАЛЕН ФОНД



скениране на закрито съществуват мобилни системи, монтирани на платформи с множество датчици за позициониране и други видове датчици, които с помощта на софтуерни алгоритми в движение разпознават геометрията на скенирани околни обекти и ги ползват за ориентация при повторно преминаване покрай тях. Те заснемат с един разположен напречно на траекторията на движение скенер или с няколко поставени под ъгъл и калибрирани по между си профилни скенера. Така се получават облаци от точки с цилиндрична форма, които обаче могат да съдържат грешки от порядъка на няколко сантиметра. Колкото по-дълъг е пътят на количката, толкова повече грешки се натрупват в облака от точки. За разлика от външното кинематично скениране, където спътниците постоянно подават информация за позицията на системата, при липса на такъв коректив, се налага в сградите, където се заснема с този тип скениране, на разстояние от около 50м да се поставят геодезични марки, измерени с друга по-прецизна техника, като например тотални станции. Това измерване на геодезични марки с тотални станции се явява допълнителен процес към скенирането. Ако обсегът на заснемане е под 50 м. или ако за конкретната цел точност от порядъка на няколко сантиметра е достатъчна, това допълнително измерване може да отпадне. За редуциране на грешките и за запълване на засенчени области се препоръчва мобилната скенираща система няколкократно да минава по една и съща траектория, с което облакът от точки се насища и софтуерът в реално време върши преизчисления, които разпределят натрупванията на грешки и ги минимизират.



Този тип кинематични системи за 3D лазерно скениране имат няколко камери, които снимат едновременно в движение и автоматично добавят на чернобелия облак от точки информация за цвета на обектите. Въртенето на колелата на количката и инерциални датчици дават информация за скоростта и траекторията на системата, а вграден барометър дава информация за смяната на нивата (например етажите на сградата). Освен геометричните данни на средата някои скенери от този тип записват и много други специфични за мястото сигнали, които проникват в закрити помещения, като например информации от клетките на мобилните оператори в района и регистрират наличието на безжични компютърни мрежи. Целта на всички тези сензори е да спомогнат ориентацията в закритото пространство с характерни за мястото информации, където ориентация не може да бъде получена от спътниците.

Изброените до тук четири типа 3D лазерно скениране са приложими при среднообхватните скенери, които заснемат от 1 м. до 120 – 130 м., и скенерите с голям обхват, които могат да скенират до 3 км. Както бе споменато по-рано, грешката на измерване при тези скенери е от 2 мм. нагоре. Те са подходящи за заснемане на ориентиращи, обзорни и възлови снимки, но за детайлни снимки са твърде неточни. При максимална резолюция и при голямо увеличение графиките им се пикселизират и образът им става неясен. Когато обектът на скениране е в рамките на до 2 м., могат да се прилагат т. нар. микроскенери, чийто принцип на работа е доста по-различен от този на среднообхватните и



макроскенерите, и предоставят изключително детайлни 3D изображения с точност до микрони.

В зависимост от това дали скенерът се движи около обекта или обектът се върти пред скенера, класифицираме Тип V и Тип VI скениране с макроскенери. Тези два типа скенери ползват трианголания метод за изчисляване на разстоянието до обекта на тяхното скениране, което обуславя малкия им обхват на действие.

Тип V. Скениране посредством мобилна трикоординатна измервателна машина.

Когато мобилен 3D лазерен скенер се монтира неподвижно, на мобилна трикоординатна измервателна машина и се калибрира с нея, то тогава машината измерва точното местоположение на скенера при неговото движение. Лъчът, който е с формата на светлинна ивица, се отразява в обекта и се заснема с вградена в скенера камера. Операторът на скенера вижда в реално време на екран точките, които се натрупват при заснемането и навигира устройството до пълно покриване на повърхността на обекта. Като се съберат координатите, измерени от машината, и координатите, измерени от лазера, се получават координатите на точките от повърхността на обекта спрямо основата на трикоординатната измервателна машина. За това, както основата на машината, така и обектът на скениране трябва да са неподвижно закрепени един към друг, например върху стабилна маса. Движението на



скенера е ограничено от размера на трикоординатната машина, но свободата на движение, което тя позволява с нейните 7 оси на въртене, дава възможност на оператора да заснеме обекта с голямо качество. Такива машини, наречени още **измервателни ръце**, имат радиус от порядъка на един метър, което означава, че размерите на обекта на скениране не могат да са по-големи от това. В изключителни случаи се допуска местене на машината около обекта и прехвърляне на координатите ѝ от една позиция в друга, така че координатната система да остане една и съща. 3D лазерният скенер, монтиран на машината, ръчно се движи покрай повърхността на обекта на разстояние около 20-30 см. от него. Скенирането като действие на оператора наподобява боядисване с четка, чиято крайна цел е да покрие напълно площта на обекта. Скенираният образ е облак от точки с много високо качество и резолюция, а точността е от порядъка на $\pm \frac{1}{4}$ от милиметъра, точност, която предходните типове на скениране далеч не могат да постигнат.

Тип VI. Скениране посредством статичен скенер и въртяща платформа.

Най-опростеният тип 3D лазерно скениране е този, при който и скенерът и обектът на скениране са статични. Тогава проблематиката с локализирането на устройството отпада изцяло, както това се случва с мобилните скенери. За да може обекта да бъде заснет от различни страни без той да бъде местен, той се поставя на платформа, която ръчно или механично се завърта около ос. Скенерът, както и при предходния тип, е ивичен, като ивицата е ориентирана и фиксирана



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ
ЕВРОПЕЙСКИ
СОЦИАЛЕН ФОНД



вертикално. При завъртането на обекта, ивицата лазерен лъч „опипва“ неговата повърхност, отразява се в него и бива заснета с камера. Подобно на скенирането от предходния пети тип, и тук определянето на разстоянието от скенера до обекта става по триангулацията. При този тип, скениране, обаче, обекти с грапава повърхност не успяват да се заснемат изцяло, защото поради ограничения ъгъл на падане на лъча върху обекта и липсата на възможност скенера да бъде преместен, както това става при тип V, вдлъбнати части от повърхността на обекта остават в сянка и не могат да се заснемат напълно. Площта на незаснетите участъци може да бъде редуцирана, ако радиално се поставят два калибрирани в центъра на въртене на платформата лазера, които излъчват едновременно и сключват съответно остър и тъп ъгъл спрямо камерата, така че те да могат да заснемат и вдлъбнатините на обектите. Скенерите, които изпълняват този тип скениране, се ползват предимно в лабораторни условия, тъй като обектите трябва да се отделят от мястото, където са намерени на мястопроизшествието и да се поставят на платформата.